

# EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DESDE EL SIGLO XVIII\*

M<sup>a</sup> E. Pérez González, J. Llorca Ballester y J. J. Sanz Donaire  
*Universidad Complutense de Madrid\*\**

## RESUMEN

El presente artículo expone la evolución de las temperaturas en los observatorios de más larga serie del mundo: 20 europeos, tres norteamericanos y Madrás en la India. Analizadas las series se pone de manifiesto que los valores de los últimos 16 años no son los más altos, o en caso afirmativo, son compatibles con otros que se registraron en cualquier otro momento, cuando la “contaminación” por CO<sub>2</sub> no era tan alta, ni debida al hombre. Se basan los análisis en los datos crudos así como en las medias móviles (de 8, 15 y 30 años). Halladas las tendencias con su significación estadística arrojan valores bastante por debajo de los que se consignan en los medios de comunicación, basados en series mucho más cortas. Las comparaciones de las evoluciones, ya sea con correlaciones ya sea en el ámbito espacial, ofrecen una imagen del tipo aleatorio, que no el llamado gráfico en palo de jockey, ni de carácter global.

## SUMMARY

This paper shows the evolution of temperature over the observatories of longest series, placed in Europe (20 of them), 3 from Northern America and Madras in India. Series were analysed and the last 16 years' values were not the highest ones; if so, these values were compatible with other values registered in other moments over the registration period, when pollution due to CO<sub>2</sub> was not so high and cannot be attributed to mankind. Analyses were made with raw data and smoothing by moving average of 8-, 15- and 30-years' periods. When calculated with their statistical significance, time trends exhibit values clearly lower than those ones given by mass media, usually based upon shorter series. Comparisons on graphs by means of correlation coefficients and mapping display a random image, and not the so called hockey stick graph, nor are trends of global character.

## INTRODUCCIÓN

La evolución reciente del clima de la Tierra es un tema de continua controversia, en el que participan diversas disciplinas de las llamadas científicas (geográfica, física, ecológica, biológica, geológica, etc.) y socioeconómicas, con opiniones muy diversas. La mayor parte

\* Fecha de recepción: 9 de octubre de 2007.

Fecha de aceptación y versión final: 30 de noviembre de 2007.

\*\* Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040 MADRID (España). E-mail: [jj sanzdo@ghis.ucm.es](mailto:jj sanzdo@ghis.ucm.es)

de los autores y grupos de opinión (entre los que destacan el amplio abanico periodístico) son muy partidarios de un cambio notable del clima actual y casi apocalípticas previsiones a un futuro próximo (IPCC, 2007, Balairón, 2006, Chylek et al., 2006; Levitus et al., 2000 y 2005; etc.). Sin embargo, cuando se analiza el complejo sistema climático y, mucho más, el geosistema terrestre, desde las múltiples disciplinas que la integran (sabedoras de aspectos muy parciales del conjunto) se encuentra gran disparidad de opiniones y, es frecuente, que se tengan serias dudas en defender abiertamente la hipótesis del “cambio climático” (Blanchard, 2002; Hanna y Cappelen, 2003; Oppenheimer, 1998; Pérez, 2006; Pérez y García, 2007; Sanz Donaire, 2005 y en prensa) y, mucho más, de atribuir al hombre la máxima responsabilidad de dicho cambio. En esta hipótesis también se prefiere escoger el término de un origen antrópico o antropoinducido, confiriéndole un poder principal “al hombre”, cuando se tendría que matizar al hombre del “Primer Mundo”, pues no cabe duda, que el desarrollo de los últimos doscientos años (en el que han participado masivamente los países del actual G-8), sí son los principales responsables de la masiva contaminación atmosférica, a excepción de las emisiones de los volcanes u otras fuentes naturales. Algunos autores entre los que nos encontramos nosotros opinamos que, como decían los clásicos: *Contra facta non valent argumenta*, por lo que aquí se aboga por un estudio riguroso de las temperaturas de las series más largas disponibles del planeta, recogidas de distintas fuentes.

Cuadro 1. Localización de estaciones.

Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Serie temporal	Nº años
EUROPA					
Trondheim	63° 24' N	10° 30' E	115	1761-2006	242
San Petersburgo	59° 58' N	30° 18' E	6	1744-2006	246
Estocolmo	59° 24' N	18° 06' E	52	1756-2006	240
Riga	56° 58' N	24° 03' E	7	1796-2006	186
Edimburgo	55° 57' N	3° 21' W	41	1764-2006	240
Copenhague	55° 42' N	12° 36' E	22	1768-2006	225
Vilna	54° 38' N	25° 06' E	156	1778-2006	209
Berlín - Tempelhof	52° 28' N	13° 24' E	49	1702-2006	274
Berlín - Dahlem	52° 28' N	13° 18' E	58	1769-2006	222
De Bilt	52° 06' N	5° 10' E	15	1706-2006	301
Wroclaw	51° 06' N	16° 53' E	121	1792-2006	204
Tréveris	49° 45' N	6° 40' E	273	1788-2006	135
París - Le Bourget	48° 48' N	2° 30' E	53	1757-2006	249
Viena - Hohe Warte	48° 15' N	16° 22' E	209	1775-2006	232
Munich - Riem	48° 06' N	11° 42' E	529	1781-2006	226
Hohenpreissenberg	47° 48' N	11° 01' E	986	1781-2006	210
Basilea-Binningen	47° 36' N	7° 36' E	318	1755-2006	229
Budapest	47° 33' N	19° 01' E	129	1780-2006	226
Ginebra	46° 15' N	6° 08' E	416	1753-2006	252
Milán - Linate	45° 25' N	9° 16' E	103	1764-2006	220

Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Serie temporal	Nº años
ESTADOS UNIDOS					
Albany	42° 45' N	73° 48' W	89	1795-2005	185
Boston-Logan	42° 22' N	71° 01' W	9	1745-2006	197
Natchez	31° 33' N	91° 22' W	59	1799-2005	143
INDIA					
Madrás	13° 00' N	80° 10' E	16	1796-2006	169

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio de la temperatura de la atmósfera superficial se ha realizado a partir de los datos obtenidos en las estaciones instrumentales con registros desde el siglo XVIII que no tengan excesivos períodos huecos. Para ello se ha utilizado la base de datos del Centro Nacional de Datos Climáticos norteamericano, perteneciente a la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration), en la que Peterson *et al.* (1997), efectuaron controles de calidad sobre los datos mensuales de temperatura.

La temperatura media anual se obtiene, lógicamente, de los valores mensuales, y en este trabajo hemos optado por no rellenar<sup>1</sup> las series, ya que dada la longitud temporal seleccionada, es difícil encontrar estaciones de referencia afines. Sólo se han hecho algunas excepciones en cuanto a la compleción en las estaciones que mantienen series sin apenas interrupciones durante más de 200 años, pero finalizan en los primeros años ochenta o noventa del pasado siglo. Llama la atención que en otras bases de datos existan las mismas estaciones, con idénticos códigos y localización geográfica, y, sin embargo, ofrezcan valores mensuales sensiblemente distintos. Esto parece responder a los cambios en la forma de obtener las medias diarias desde 1990. A partir de este año se instala un gran número de estaciones automáticas que toman datos de temperatura cada 10 segundos, por lo que la media diaria se obtiene a partir de 8.460 datos y no de 2 (máxima y mínima).

Al seleccionar estaciones que inicien su muestreo en el siglo XVIII el ámbito espacial se restringe al centro y norte de Europa, a tres estaciones norteamericanas y una en la India. Es sorprendente la cantidad de estaciones que, con series muy completas durante dos siglos, hayan interrumpido el muestreo en los años setenta u ochenta del pasado siglo (Filadelfia, Basilea, Karlsruhe, Copenhague, etc.), hecho que las anula para conocer las tendencias más recientes si no hay posibilidad de completarlas. Por tanto, se han seleccionado solamente aquéllas que inicien su muestreo en el siglo XVIII y no carezcan de demasiados huecos. El intervalo de ausencia de datos difiere en Europa, con un mayor número de series temporales largas, que en EE.UU.A., donde sólo tres estaciones abarcan un registro temporal a lo largo de, al menos, algunos años de los últimos cuatro siglos (del XVIII al XXI), aunque

<sup>1</sup> Debemos hacer una distinción entre:

- Relleno de lagunas: casos en los que la serie se ve interrumpida durante un cierto tiempo, pero que luego continúa.
- Compleción: la serie finaliza a finales del XX y parece lógico que – tras más de 200 años de registro – no se pierda esta información para ulteriores análisis, sino que se complete con una estación inmediata, cercana, o similar (incluso la misma, pero obtenida en otra fuente de información); la compleción en algunos casos implica el uso de pronósticos, previa correlación con la estación problema.

la extensión total no alcance los doscientos años. La existencia de otras series norteamericanas que inician su muestreo en las primeras décadas del siglo XIX, especialmente en las grandes ciudades de la Costa Nordeste, permitirá paliar dichas deficiencias.

La evolución temporal de las estaciones “históricas” se ha analizado a partir de los siguientes análisis:

- Gráficos de las series históricas (expresados junto a las líneas de tendencia).
- Tendencias lineal (Cuadro 2), - tras probar otras tendencias como las exponencial, logarítmica, potencial, etc. (recogidas en los cuadros 3 y 4) - y medias móviles. En este caso hemos seleccionado diferentes períodos (8, 15 y 30 años) con el fin de recoger períodos climáticos completos (cada 30 años) o divisores de los mismos. No obstante, se expondrán de modo conjunto con las gráficas anteriores, evitando la redundancia de información gráfica.
- Significación estadística de la tendencia lineal, relación más o menos débil entre las variables año y temperatura media (medida a través del coeficiente de correlación) y pendiente de la línea de tendencia (este valor se ha expresado en ° C/siglo para simplificar el resultado).

La distribución espacial de las tendencias lineales de las series europeas, único continente con un número suficiente de observatorios como para merecer un tratamiento cartográfico, se recoge en un mapa de proyección cónica, en el que la interpolación seleccionada ha sido el krigeado, que, como se sabe, resalta todavía más las tendencias geográficas.

### *Estudio de Tendencias*

Obviamente, la utilización de un análisis de tendencia debe ser *a posteriori* de haber visto que ésta existe. Así, lo más habitual es haber detectado visualmente, tras la representación gráfica de la serie temporal, que existe un ascenso o descenso en el conjunto de los datos. Y sólo cuando en una gráfica se atisbe este comportamiento es cuando resulta correcta la utilización del análisis de tendencia. En un segundo momento se valorará si dicha tendencia es significativa o no, estadísticamente hablando (básicamente en función de la respuesta temporal y del número de valores tenidos en cuenta en el estudio de la serie, “ruido” generado, etc.). Puede darse el caso de que una serie temporal no sea estadísticamente significativa, esto es, que la separación respecto de la horizontal obedezca únicamente a motivos aleatorios. En este caso, es frecuente despreciar la serie, carente de tendencia, cuando es un comportamiento tan real como el resto, por lo que sí puede ofrecer significación lógica.

Otra obviedad: si hay incremento positivo, los valores irán en alza, y, por lo tanto, la utilización del análisis, en buena lid de estadística inferencial, que no descriptiva, señalará un progresivo aumento, que no se interrumpirá “nunca”. De hecho la tendencia se define como el movimiento de los valores de la variable en un determinado sentido (o dirección). Se le aplican toda suerte de modelos, desde los más sencillos, los lineales, hasta los más complejos como el cuadrático, exponencial, de curva en S, etc. No obstante, dada la complejidad progresiva de los cálculos, suele restringirse a los modelos lineales. Lo dicho

para los incrementos positivos se aplica igualmente para los negativos, si bien con signo contrario.

Finalmente, una consecuencia más de la obviedad anterior: si se ha optado por un modelo lineal, lo que suele hacerse por la “universalidad” del uso – dada su simplicidad –, se debería tener la seguridad o al menos la impresión razonada de que este modelo es el que se continuará en el futuro. Ya en otro lugar, uno de nosotros (Sanz Donaire, 1999) planteaba que la aplicación de otro modelo con un coeficiente de correlación mayor, no siempre justifica la utilización del segundo modelo, dado que, en los pronósticos se evidencia como incorrecto. En definitiva, un mejor ajuste a los datos existentes no significa necesariamente que los pronósticos sean mejores. Tal vez el mejor modo de poner en evidencia lo que aquí se cita sea no realizando un pronóstico, sino “prenóstico”, esto es estimando hacia atrás, al pasado. Si lo que aparece estimado es absurdo, y con frecuencia lo es, debe descartarse por inapropiado el modelo, por muy bien ajustado que esté a los datos disponibles. Así la aceptación de un incremento de 0,8° C/siglo daría para un período de 10 siglos, nada menos que 8° de diferencia en la media anual, lo que significa SIEMPRE un cambio absoluto de clima. Y esto no ha ocurrido NUNCA en el pasado histórico. ¿Por qué ha de ocurrir en el futuro?, ¿Sólo por la intervención humana?

La mayor parte de los estudios actuales del clima definen a éste de un modo sistémico, incluso habiendo desterrado la palabra “clima” por la expresión “sistema climático”. Ello obedece a una aceptación de los principios de la Teoría General de Sistemas de von Bertalanffy, que, entre otras repercusiones, implica la noción de “umbral”: los sistemas son estables hasta que se alcanzan, por forzamiento de cualquier tipo, incluido el humano, un nuevo estado de equilibrio, evidentemente dinámico, que no estático. ¿Dónde se encuentra el “umbral” que nos permitiría inequívocamente hablar de cambio en el clima? Responder a esta pregunta resulta totalmente crucial. Desconocer éste u otros umbrales deja al hombre inerte ante la comprensión, y por ende capacidad de intervención, del problema. Habría que demostrar la “metaestabilidad”, la “labilidad” del sistema, para que tuviera sentido una intervención.

Y con ello no queremos negar que todo lo que el hombre pueda hacer por reducir los niveles de contaminación sea bueno, sino al contrario. Pero, de este principio de precaución al de alarma que se ha suscitado en los últimos tiempos, hay no ya una cuestión de matiz, sino de cruda definición.

## RESULTADOS DEL ESTUDIO DE TENDENCIAS

A modo de ejemplo se ha trabajado aquí con toda una serie de tendencias, desde la más sencilla, la lineal, a otras más complicadas. Se ha elegido una de las estaciones intermedias que, del conjunto de las estudiadas, no tuviera ni la totalidad del siglo XVIII, ni empezase a finales del siglo: Berlín Dahlem. Los resultados de la aplicación de los distintos modelos se expresan en el cuadro 2, al que ahora se pasa a comentar.

El cuadro 2 presenta el nombre del modelo, su expresión matemática, la pendiente (en los casos en los que tiene sentido), el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación  $R^2$ , la significación estadística con el nivel de confianza, el valor  $p$ , y finalmente las estimaciones, según el modelo, para los años 2000, 2050 y 2100, siempre al 95% de nivel

de confianza, por lo que se puede calcular el supuesto incremento en el siglo XXI. Éste resulta ser notablemente inferior a la variabilidad anual (medida entre los valores reales del año 2000<sup>2</sup> y los estimados para el mismo año), un comportamiento que se observa en todas las estaciones. En apoyo de esta afirmación se expone igualmente el caso de De Bilt, la estación más longeva de las estudiadas (Cuadro 3). Dada la repetición de datos de pendiente en la mayor parte de los modelos estudiados, se ha preferido la tendencia lineal por la comodidad de su cálculo, sin perder apenas información. En cualquier caso, insistimos, en que la apreciación estará basada siempre en una realidad de claro cambio en un sentido, lo que no es un comportamiento general. Sin embargo, cualquier otro modelo simple que se utilizara arrojaría unos resultados más complejos, menos comparables con los tratamientos a los que se suele someter los datos.

El conjunto de estaciones a partir de las cuales se trata de conocer la evolución de la temperatura superficial desde el siglo XVIII está formado por veinticuatro series, veinte europeas, tres de los Estados Unidos de América y una de la India. Esta distribución espacial responde a la gran influencia de Inglaterra y Francia en las regiones extra-europeas mencionadas durante el siglo XVIII y XIX.

El primer aspecto analizado es la tendencia lineal de la distribución temporal de la temperatura media anual. En el cuadro 4 se expresan los principales valores de la tendencia, en el que resaltamos en **negrita** la pendiente resultante en ° C/siglo. Debe destacarse que ninguna serie alcanza un valor superior a 0,8° C/siglo y, es obvio, que todas están emplazadas en ámbitos urbanos, en los que el incremento térmico por modificaciones notorias del entorno natural se estima entre 0,5° C y 1° C (Landsberg, 1981, Oke, 1997, Fernández et al., 1998, IPCC, 2007). También, es preciso señalar que la ausencia de significación estadística (esto es, cuando no representa al menos al 90 % de los datos por tener valores de *p* en el test del análisis de la variable -ANOVA- superiores o iguales a 0,10), se produce en tres series, París, Wrocław y Natchez (EE.UU.A.). Esta ausencia de tendencia se corresponde con líneas casi horizontales, que indican un comportamiento muy uniforme de la temperatura anual o desviaciones positivas y negativas compensadas (con similar número y en idéntica cuantía).

De las tres series norteamericanas, dos muestran tendencias lineales negativas, con una localización geográfica y climas dispares (Albany, en el Noreste de USA, a unos 240 km de la costa y Natchez, al Sur, junto al río Mississippi en su tramo bajo). Estas dos series son las únicas entre las aquí analizadas con tendencias lineales negativas, aunque los valores de las pendientes son pequeños (-0,2° y -0,06° C/siglo respectivamente). Resultados similares se han descrito en otras áreas geográficas como es el caso de islas del Pacífico o en Groenlandia (Pérez y García, 2006 y en prensa). Así, en ninguna región del planeta, al menos que disponga de datos termométricos de superficie, se han observado tendencias destacadas al enfriamiento del aire, aunque sí ausencia de cambios significativos, por lo escaso de su variabilidad.

---

<sup>2</sup> Debe destacarse que, ante la carencia del dato del año 2000, hemos optado por tomar el año 1998, el más cercano al 2000 de los datos existentes.

Cuadro 2. Tendencias lineales de la temperatura media anual con todos los datos de cada serie.

Nombre	Significación %	Pendiente ° C/siglo	C.Corr.	R <sup>2</sup> %
<b>EUROPA</b>				
Trondheim	99	<b>0,24</b>	0,21	4,67
San Petersburgo	99	<b>0,74</b>	0,45	21,14
Estocolmo	99	<b>0,54</b>	0,36	13,57
Riga	95	<b>0,26</b>	0,14	2,09
Edimburgo	99	<b>0,34</b>	0,41	16,87
Copenhague	99	<b>0,62</b>	0,43	18,89
Vilna	No	-0,01	-0,01	0,01
Berlín-Tempelhof	99	<b>0,37</b>	0,31	9,37
Berlín- Dahlem	90	<b>0,15</b>	0,11	2,64
De Bilt	99	<b>0,47</b>	0,45	20,01
Tréveris	95	<b>-0,25</b>	-0,22	4,66
Wroclaw	99	<b>0,04</b>	0,29	8,26
París - Le Bourget	No	0,01	1,10	1,40
Viena - Hohe Warte	99	<b>0,24</b>	0,19	3,58
Munich - Riem	95	<b>0,20</b>	0,16	2,76
Hohenpreissenberg	95	<b>0,20</b>	0,12	2,67
Basilea - Binningen	99	<b>0,48</b>	0,43	18,59
Budapest	99	<b>0,21</b>	0,17	3,22
Ginebra	99	<b>0,06</b>	0,25	6,00
Milán - Linate	90	<b>0,12</b>	0,11	1,25
<b>ESTADOS UNIDOS</b>				
Albany	95	<b>-0,21</b>	-0,14	2,19
Boston / Logan	99	<b>0,79</b>	0,60	36,49
Natchez	No	-0,06	-0,4	0,19
<b>INDIA</b>				
Madrás	99	<b>0,41</b>	0,55	30,46

Son amplia mayoría, 75 %, las que muestran tendencias lineales positivas; sin embargo, es fundamental atender al valor del incremento térmico por siglo, pues quince de ellas no alcanza el 0,5° C (Riga, Edimburgo, Berlín, De Bilt, Viena, Basilea, Munich, Madrás, etc.), por lo que dichos ascensos de temperatura difícilmente puedan alterar de forma evidente el sistema climático planetario. Debe destacarse, también, que las dos series más antiguas, De Bilt y Berlín Tempelhof, con datos desde el inicio del siglo XVIII, tienen incrementos inferiores a 0,5° C/siglo.

Las dos estaciones bálticas analizadas, junto a la serie de la ciudad de Boston, son las que arrojan incrementos más elevados, entre 0,54° C/siglo en Estocolmo a 0,79° C/siglo en Boston. Casi toda la costa nordeste de Norteamérica, con series termométricas menos extensas, refleja también incrementos térmicos (Pérez González, 2006), probablemente

relacionados con variaciones de la circulación oceánica del Atlántico Norte y, con la drástica transformación del medio natural, ahora dominado por grandes megalópolis, que se extienden por toda la costa estadounidense.

## RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LAS MEDIAS MÓVILES

Las medias móviles se utilizan habitualmente para suavizar los valores de una serie temporal que presenten variaciones importantes, en principio calificables de “aleatorias”. El método es sencillo, pero operativamente presenta más dificultades. La primera es la aplicación de un determinado “grado”, o período. ¿Cuál escoger? Aparentemente es una elección sencilla, pero frecuentemente se relega a un simple ensayo de conveniencias. En climatología se suele tomar un valor entre 7 y 30, dado que este último número es el que se admite como definitorio de un período climatológico normal o CLINO. Tampoco es raro que se tome la mitad o la cuarta parte de este número (períodos de 15 y 8 años). La segunda dificultad estriba en la elección de cómo aplicar la media: por lo general se hace del período antecedente, por el simple razonamiento de que en el tiempo lo anterior podría influir en lo posterior, aunque no al revés. La aplicación de este método obliga a una carencia de medias móviles, en el comienzo de la serie, de igual longitud al período por el que se ha optado. No obstante hay autores que en aplicación de una estricta metodología estadística, centran el dato al que refieren la media móvil: así para un período de 15 años, toman los siete anteriores, los siete posteriores y el valor en sí. Este modo de hacer tiene la ventaja de que reduce a la mitad el período de carencia inicial, aunque genera un segundo período de carencia final. A menudo se obvia este problema, desechando las colas para las que no se dispone de datos (de media móvil). Y también existen casos en los que se pondera el valor de los datos, de tal modo que los más cercanos tengan un mayor peso sobre el calculado de media móvil, y los más alejados menor influencia. Este criterio también parece lógico, aunque plantea la elección, no siempre fácil, de las ponderaciones. Con el fin de obviar las carencias iniciales en aquellos casos en los que se opta por trabajar con el período antecedente, hay incluso paquetes estadísticos que mantienen este criterio hasta sus últimas consecuencias, en los años de carencia iniciales: este modo de proceder no halla la media móvil del período elegido, sino que en el primer año se ciñe al valor real, el segundo halla la media de los dos años anteriores, y así sucesivamente. El resultado es vistoso, porque obvia las carencias, pero engañoso. Aquí se ha elegido el primer modo de proceder, a sabiendas del período de carencia generado, especialmente largo para un grado de 30.

## ESTUDIO TEMPORAL POR ÁMBITOS GEOGRÁFICOS

Este apartado ha sido delimitado, *a priori*, siguiendo criterios geográficos. Los comentarios que siguen responden a tres guisas de expresar la realidad de las estaciones, lo que, lejos de constituir un inconveniente, enriquece la manera de aproximarse a la realidad.



### *Llanura Centroeuropa*

Se incluyen aquí las series de París, De Bilt, Berlín Tempelhof, Berlín Dahlem y Tréveris, con climas según Köppen Cfb, (mesotérmicos, húmedos y de veranos frescos) y Wroclaw, con clima Dfb (microtérmino y de similares umbrales pluviométricos y de temperatura estival). Tres de esas series (París, Berlín Tempelhof y De Bilt) han sido analizadas con anterioridad (Pérez González, 2006), aunque ahora se amplía el período de muestreo hasta el 2006, unos quince años más que en el trabajo anterior, por lo que permite conocer mejor la evolución actual.

Todas las estaciones centroeuropeas seleccionadas distan unos 1040 km W-E (entre París y Wroclaw) y, en torno a 412 km N-S (entre De Bilt y París), con altitudes que oscilan entre 124 m en Tréveris y 15 m en De Bilt.

La capital francesa muestra una evolución singular de la temperatura media anual, con los valores más elevados al principio y al final de la serie temporal y los mínimos en el centro de la misma, por lo que la media móvil, a grandes rasgos, parece adaptarse a una curva cóncava hacia el cielo o cuadrática muy laxa, (ver figura 1). Así, las medias anuales máximas se dan en 1775, con 12,70° C y 1994, con 12,23° C y la mínima en 1879, con 8,2° C. Es por ello por lo que, si se le aplica tendencias polinómicas, casi de cualquier orden (del 2 al 5) siempre nos muestra una curva cóncava, mientras que lo habitual es que esta función ofrezca tendencias muy dispares según el orden seleccionado. Por este motivo es muy arriesgado utilizar estas funciones para explicar las tendencias de las series temporales.

En un análisis más detallado, se producen pequeños períodos de ascenso, en las primeras décadas del siglo XIX y en los años treinta y cuarenta del siglo XX, con otros de temperaturas medias descendentes a finales del siglo XVIII y, entre los años sesenta y ochenta del pasado siglo, período que hemos denominado “anomalía negativa del siglo XX”, pues se repite en numerosos puntos del Planeta, como en el Este de Canadá, Sur de Sudamérica, Atlántico Sur próximo a la Antártida, (Pérez González, 2006). En cuanto a los valores recientes, desde 1994 la temperatura media muestra una tendencia central descendente, de modo que los valores registrados en el siglo XXI, aunque se consideren cálidos (según análisis de cuartiles), han sido superados en la serie temporal entre el 9 y el 23 % de los años.

La estación holandesa de De Bilt, la única que dispone de 301 años sin interrupciones, registra un rango de la temperatura media anual de 5,3° C, valor similar a París (4,5° C), aunque las tendencias seculares son muy dispares en ambas estaciones (ver figura 2). Gracias a la extensión y calidad de la serie se ha optado aquí por hacer un comentario secular, con el fin de conocer en qué períodos se producen las principales variaciones de la temperatura media anual. Durante el siglo XVIII, De Bilt mantiene una tendencia central muy estable y, en general, es el siglo que tiene las medias anuales más bajas, con un valor promedio de 9° C. El siglo XIX, experimenta un brusco ascenso de la media anual, especialmente intenso desde el inicio del siglo hasta los años setenta, en los que se registran los valores máximos de la serie (1868, 11,6° C y 1872, 11,4° C) y, un pequeño período final descendente, de modo que el promedio decimonónico es 9,5° C, con un incremento de 0,5° C respecto al siglo precedente. El siglo XX presenta una nítida anomalía negativa muy extensa entre 1952 y 1987, mientras que el resto del siglo, anterior y posterior tiene medias similares, en torno a 10,4° C. El promedio de este siglo es de 9,8° C, por tanto, con un incremento respecto al

siglo XIX de 3 décimas, o de 0,8° C desde inicio de la serie temporal. Valores muy similares se obtienen si desplazamos los siglos para ajustarlos al inicio y fin de la serie, esto es, 1706-2006. El incremento observado en los promedios de los tres siglos desplazados es de 1° C (realmente 0,97° C), pero debe destacarse que el mayor incremento de la serie se produjo entre 1800 y 1870 con un ascenso de 2° C en la media móvil, sin que ello supusiera la continuidad de la tendencia ascendente.

Los valores registrados en De Bilt durante los siete años del siglo XXI se consideran muy cálidos (no extremadamente cálidos), pues se han repetido con anterioridad entre 3 y 61 veces, esto es entre el 1 y el 20,26 % de los años.

Las dos estaciones de la ciudad de Berlín son sensiblemente desiguales en cuanto a extensión temporal y número de años registrados (Fig. 3). La más completa, Berlín Tempelhof, se encuentra en el barrio del mismo nombre, en la actualidad junto al aeropuerto y, además, es la más antigua, pues inicia su serie en 1702 hasta el año 2006. Sin embargo, las dos lagunas entre 1708-1730 y 1750-1755, reducen su período de muestreo a 274 años (ver cuadro 1). En esta estación destacan los valores muy bajos de la primera mitad del siglo XVIII, pero la segunda mitad registra un brusco ascenso, no observado en la serie holandesa, pero sí en la de París. Así estas dos series muestran los valores máximos durante la segunda mitad del siglo XVIII. A partir de 1756 (año con 11,5° C) se advierte un largo período descendente en la media móvil (Fig. 4), que se extiende hasta 1916, una quincena más prolongada que la tendencia del mismo período en París. La evolución de la media anual a lo largo del siglo XIX es ascendente hasta el último tercio del siglo, como la serie de De Bilt, aunque aquí el incremento de la media móvil es de menor intensidad, en torno a 1,5° C. Durante el siglo XX la media móvil se mantiene sobre los 9-9,3° C, a excepción de período más fresco, entre 1915-1942 y el ascenso continuado desde finales de los sesenta hasta la actualidad. Así la media secular resta constante en 8,8° C durante los siglos XVIII y XIX y asciende a 9,17° C en el XX. De modo que el incremento es de tan sólo 0,4° C a lo largo de tres siglos. Por último, los valores registrados durante los siete años del siglo actual se han registrado con anterioridad entre 2 y 59 veces (0,73-21,53 %), por lo que se pueden considerar entre muy cálidos y cálidos, en el análisis de los cuartiles.

La estación de Berlín Dahlem se localiza en el Jardín Botánico del mismo nombre al suroeste de la ciudad. La serie inicia su muestreo en 1769 y no tiene interrupciones hasta 1990, fecha desde la que sólo se tienen los años 2004 y 2005, por lo que la media móvil reciente ofrece una respuesta poco robusta.

En principio las dos series berlinesas muestran bastante similitud en los valores anuales, especialmente durante el siglo XIX, mientras que difieren con frecuencia entre 0,6 y 1° C a partir de la segunda década del siglo XX, pero no siempre en el mismo sentido (Fig.3). En la primera mitad del siglo, la serie de Dahlem es más cálida que Tempelhof y, en la segunda mitad es más fresca. Estas diferencias conllevan variaciones importantes en la tendencia de la media móvil durante el pasado siglo; mientras que entre 1910-1930 la tendencia en Tempelhof es negativa, cambia de signo en Dahlem. También llama la atención que, durante los años de la Segunda Guerra Mundial, ambas series tengan exactamente los mismos valores, por lo que bien podría tratarse de una sola serie o que esté reconstruida del mismo modo. A partir de los años cincuenta ambas series muestran tendencias en las medias móviles similares, aunque recientemente la serie de Tempelhof es, siempre, más

cálida que Dahlem, en unos 0,5° C, lo que bien podría explicarse por su localización junto al aeropuerto, sin la amortiguación térmica característica de la vegetación existente en el jardín botánico de Dahlem.

La estación de Dahlem, al carecer de los valores bajos del siglo XVIII, muestra bastante regularidad en la tendencia central, en la que el rango de la media móvil no alcanza 1,5° C. No obstante, el siglo XVIII recoge los dos valores extremos de la serie temporal, con el máximo en 1779 y el mínimo en 1799. Durante las dos primeras décadas del XIX, se produce un descenso de la temperatura media anual, época desde la que la media asciende hasta los años ochenta del mismo siglo, al igual que París y la estación de Tempelhof en la misma ciudad. Pese al aparente repunte térmico reciente, manifestado mediante la media móvil, los únicos dos valores del siglo XXI se han registrado con anterioridad entre el 25,7 y el 28,4 % de los años, por lo que se pueden considerar cálidos, pero nada excepcionales.

La estación alemana de Tréveris situada junto a la frontera con Luxemburgo, muestra valores de temperatura media de 1788 a 2006. Aunque con lagunas considerables, (1802-1806; 1818-1848 y 1898-1938), hemos optado por incluirla en este trabajo por tratarse de una ciudad intermedia, con unos 100.000 habitantes y mostrar una tendencia contraria al resto de series analizadas.

Lo primero que llama la atención es que los cuatro valores más altos de la serie (> a 11° C) se producen antes del último tercio del siglo XIX y, los tres más bajos (< 8,22° C) en la segunda mitad del XX (1963, 1962 y 1985), motivo por el cual, la tendencia lineal es negativa (Fig. 5). La media móvil es, en los períodos de lagunas, evidentemente falsa, pero en aquellos años con datos continuados oscila menos que en el resto de ciudades centroeuropeas analizadas, en torno a 1° C, desde los períodos más cálidos a los más frescos. Destacan las décadas del sesenta a finales de los ochenta del pasado siglo por ser las más frías de la serie, hecho que ya se ha comentado en París, De Bilt, Albany, Natchez y otros puntos del Planeta, por lo que a este período lo denominamos “anomalía negativa del siglo XX”. Por último, los recientes valores de temperatura media del siglo XXI, pueden considerarse entre normales (2004) y muy cálidos (2003), pues se han producido con anterioridad valores iguales o superiores entre un 45,9 % y 5,3 % respectivamente.

La ciudad polaca de Wroclaw, localizada en la región industrial de la Baja Silesia, tiene en la actualidad una población en torno a los 633.000 habitantes. La serie registra un amplio rango de temperatura media anual, 6° C, característico de los climas fríos del interior. Sus valores extremos se han producido en fechas alejadas a las actuales, pues el mínimo es de 1829 (4,3° C) y el máximo de 1934 (10,3° C). Este último año también destaca en el resto de series de la llanura centroeuropea entre los valores más altos, por lo que parece responder a causas naturales. La serie temporal registra dos períodos de notable incremento térmico: uno, en la treintena comprendida entre 1890-1920 y, otro desde 1988 hasta la actualidad. Pese al ascenso reciente de la media anual destaca nuevamente el año 1996 por tener un valor (7,1° C) que lo califica de año frío y, los años del siglo XXI estarían entre cálidos y muy cálidos según el cálculo de cuartiles. Atendiendo a la tendencia lineal, aún siendo positiva, los casi inapreciables incrementos térmicos por siglo (0,04° C) hacen que no sea estadísticamente significativa. Realmente si atendemos al incremento de la última treintena las medias anuales actuales podrían ser alarmante, pero el disponer de series instrumentales de más de dos siglos nos permite afirmar que incrementos iguales o

superiores se han mantenido durante períodos más extensos sin que ello signifique tendencias indefinidamente progresivas.

### *La Europa circumalpina*

Bajo esta denominación queremos referirnos a las estaciones que se encuentran en el entorno, *sensu lato*, de los Alpes. Comprende las estaciones de Viena, Munich, Hohenpreisenberg, Basilea, Ginebra, Milán y Budapest. La estación de Viena Hohe Warte (Fig. 7) presenta una tendencia en los valores centrales a la disminución, partiendo, por lo tanto de valores altos, aunque ligeramente inferiores a algunos del siglo XXI; efectivamente los valores más altos jamás registrados se hallan concentrados en el 2000 y 2002 (11,67 y 11,32 °C respectivamente), aunque apenas a centésimas de los que se midieron en 1797 y 1783 (11,23 y 11,19 °C), en un momento en el que la contaminación no era importante, ni siquiera en la capital del Imperio (todavía Sacro Imperio Romano Germánico). Así la tendencia que mejor explica la variación secular es una cuadrática, cóncava hacia los valores altos, curva que mejora sustancialmente ( $R^2 = 18,7\%$ ) la tendencia lineal positiva con significación estadística al 99% ( $R^2 = 4,52\%$ ) ya expuesta en el cuadro inicial correspondiente (Cuadro 1). No obstante, y como se ha tenido ocasión de manifestar reiteradas veces, la cuadrática no posee sino valor descriptivo para el período estudiado y pierde toda capacidad predictora a futuro. Al propio tiempo parece clara una tendencia desde 1875 a la actualidad hacia un aumento de la temperatura; este hecho se pone especialmente de manifiesto si se observa la media móvil de 8 años, en cuyo recorrido desempeñan un decisivo papel las altas medias de lo que llevamos de siglo.

Un comportamiento parecido ofrece la estación de Munich Riem (Fig. 8), en la que, aunque la recta de tendencia (con ser significativa al 95% para un  $R^2 = 3,6/2,76\%$ ) ofrezca un aumento de 0,0021°/año, el mejor ajuste se eleva en una cuadrática al 17,5%. En este caso las temperaturas del siglo XXI no son tan altas, sino que, de hecho, la máxima de la serie se alcanza en 1994 con 9,97°, cuando en 1794 había sido de 9,59°, eso sí, habiéndose registrado en el 2002 9,69° y en el 2000 9,67°, dos valores muy elevados casi seguidos, aunque rebajados en los años siguientes. Incluso desde 1988 al 2006 se han repetido 11 valores que están situados en los percentiles iguales al 90 y superiores del conjunto de temperaturas; pero estos valores, que algunos llamarían alarmantes, son muy parecidos a los que se repitieron en 6 ocasiones entre 1794 y 1811, al parecer sin la “contaminación” por CO<sub>2</sub>.

Hohenpreissenberg (Fig. 9) se halla en las estribaciones meridionales de los Alpes. Es una de esas estaciones cuya serie comienza en 1781 y acaba 201 años después. Se ha completado con una estación próxima, con la misma localización astronómica, pero tras un período de carencia, a partir de 1997, destacando entonces un brusco salto en las medias anuales, de aproximadamente 1° (las medias en los años 70 eran de 6,5, las del siglo XXI son de 7,5° C). Aquí si que se muestra el típico aumento en palo de hockey, si bien parece lógico achacarlo a la sustitución de una estación manual por otra automática. Aún y así, las cifras del actual siglo (8,23 y 8,11° en los 2002 y 2000 respectivamente) fueron ligeramente superadas (8,25° C) en 1811, año especialmente caluroso en todas las series estudiadas que disponen de este dato. En el gráfico que representa la variación de la temperatura anual se

pone de manifiesto de un modo bien visible que la teoría de los ciclos solares de 11 años de duración tiene una apoyatura numérica: son los valores de 1811, 1822, 1834 y 1846, tan destacados respecto de los inmediatos. El ajuste de una tendencia lineal es bajo, significativo sólo al 90%, con pendiente secular positiva de 0,09°, impuesta por la subida de los últimos años considerados, tan problemáticos en cuanto a su adición al resto de la serie. Como en las series anteriores aquí también se ajusta mejor una cuadrática ( $R^2 = 13,65\%$ ), y mucho mejor una polinómica de 5 ó 6° grado ( $R^2 = 18,85\%$ ), aunque las extrapolaciones en cualquiera de estos casos desvía de lo que es razonablemente digno de imaginarse. En el tramo entre 1793 y 1811 existen 8 casos en los que las temperaturas excedieron del 9° decil, entre el 1997 y el 2006 se sucedieron 6 casos. Una vez más aparece el mismo comportamiento al N de los Alpes.

Por lo que se refiere a Basilea (Fig. 10), la media móvil en sus versiones de 8 y 15 años expone una situación de altibajos rítmicos desde mitad del XVIII, hasta que en el XX la subida es suave, pero continua. Tal vez sea ésta la gráfica que mejor ejemplifica la conocida silueta del palo de hockey. Los últimos años registrados (a partir de 1980), que corresponden a la nueva manera de obtener los datos, y especialmente todos los que están disponibles del siglo actual superan el 9° decil, siendo muy calurosos. Estos años están aproximadamente 2° por encima de la media de los restantes (de 11° a 9° C) y los máximos están a 1° por encima de las máximas de la serie hasta 1900. Al propio tiempo también en la serie histórica sobresalen los años 1822 ó 1834, ya citados a causa de los ciclos solares.

Ginebra (Fig. 11) posee entre 1943 y 1959 siete años que se encuentran en el percentil 90 o superior, situación que se repite entre 1990 y 2005 en 11 ocasiones, esta segunda vez con cifras aún más elevadas. La tendencia de la serie es positiva, con un aumento mantenido entre 1850 y 1960, para producirse luego una caída importante y repunte final, en datos que, a partir de 1991, ya están tomados de un modo diferente. Frente a la subida “escandalosa” de Basilea, Ginebra muestra aumento aunque en proporción menos pronunciada. Es llamativo el período de descenso de las temperaturas medias entre 1947 y 1963.

Continuando con la vuelta antihoraria de los observatorios circumalpinos, Milán Linate (Fig. 12) tiene una serie algunas veces interrumpida pero casi completa en la que destaca, a primera vista, la tendencia al alza, especialmente manifiesta por la oleada final de temperaturas elevadas. Éstas se concentran en los años 1997, 2000 y 2003, si bien son ligeramente superiores a los valores máximos del resto de la serie: 1772 ó 1943. En la serie entre 1994 y 2006 once años superan el umbral del 9° decil, y los años son todos consecutivos a partir de 1997. Por otra parte es muy destacada la vaguada que presentan los datos desde 1943 hasta alcanzar los máximos del XXI. Este es, sin duda, el carácter más sobresaliente de la gráfica milanesa, más notable que la bajada generalizada a finales del XIX, que aquí pasa casi totalmente desapercibida. Este “ciclo” frío, no obstante, fue superado por las bajas temperaturas anuales de 1835 y 1836. La gráfica general de Milán sólo imperfectamente puede describirse a través de una recta de tendencia; más bien ofrece un buen ejemplo de los “ciclos” térmicos, aunque éstos sean sólo cuasiperiódicos. Con el fin de comentar más apropiadamente toda la serie debe tenerse en cuenta que desde 1986 ha sido necesario completar las observaciones, fechas en las que precisamente los cambios son más llamativos.

Budapest (Fig. 13) ofrece una gráfica del tipo de las cuadráticas boreoalpinas (el coeficiente de determinación  $R^2$  asciende de un 3 al 15% respecto del ajuste lineal). Aunque es su tendencia lineal positiva y significativa al máximo nivel de confianza, la subida del siglo actual es poco acusada. Es cierto que el año 2000 ostenta el récord de temperatura de toda la serie, pero no cabe la menor duda de que es un valor harto compatible con los restantes del decil 9<sup>o</sup> del junto (13,03° respecto de los máximos de 1797 de 12,78 ó de 1822 y 1834, ambos por encima del umbral de 12,5° C). Los valores promedio más bajos se presentaron a finales del XIX, con lo que se corrobora lo que hemos dado en llamar la “anomalía térmica finidecimonónica” (Sanz Donaire, 2000).

### *El ámbito “circumbáltico”*

Esta región (en sentido amplio) engloba las estaciones localizadas alrededor del Mar Báltico, además de Edimburgo, que, si bien se encuentra en el Mar del Norte, y Trondheim, en la costa occidental noruega, tienen características comunes a las estaciones bálticas (alta latitud, influencia marítima en el clima...). Según la clasificación climática de Köppen las estaciones se encuentran inscritas en los dominios Cfb (Edimburgo, Trondheim y Copenhague) y Dfb (Estocolmo, Riga, Vilna y San Petersburgo).

Trondheim (figura 14) es la más septentrional de las estaciones analizadas en el presente trabajo, encontrándose a 63° de latitud Norte. La estación histórica registra datos mensuales de temperatura desde 1761, por lo que se puede contar con 242 años válidos para el análisis (tan sólo faltan los datos de 4 años). Ha sido preciso completar la serie desde 1981 mediante un pronóstico elaborado a partir de los datos de otra estación situada en la localidad, puesto que no se puede acceder al registro de los últimos 26 años. La serie muestra una tendencia general positiva, significativa al 99 % de nivel de confianza, que se traduce en un aumento de 0,24° C por siglo. La temperatura media es 4,92° C, encontrando el máximo absoluto en 1930 (7,14° C), y en 1838 el mínimo de la serie (2,93° C), aunque no es un valor anómalo, puesto que se observan al menos 5 años con datos similares. El recorrido de la variable (4,2° C) es moderadamente bajo debido a la influencia oceánica que modula el comportamiento de las temperaturas. La representación de la media móvil cada 8 años presenta grandes oscilaciones (alrededor de 1° C ascenso/descenso) hasta 1900, produciéndose el mayor incremento de los valores medios en la década de 1820, seguido de un descenso de igual cuantía. La primera mitad del siglo XX registra un fuerte incremento de las temperaturas, fundamentalmente en el período 1920-1940 (cuando se alcanzan los máximos absolutos), que continúan con el declive correspondiente durante los 20 años siguientes. Desde 1960 los valores medios vuelven a remontar, con cortas fases descendentes, hasta la actualidad, aumentando en torno a 1,5° C, sin llegar los datos actuales a ser tan elevados como los de la década de los 30.

San Petersburgo es la segunda ciudad en importancia de Rusia, y cuenta con un área metropolitana de más de 5,8 millones de habitantes (figura 15). Se localiza en la desembocadura del río Neva, prácticamente al nivel del mar. La serie de temperaturas, que comienza en 1744, presenta una tendencia central ascendente, a razón de 0,74° C cada siglo, siendo significativa a un 99 % de nivel de confianza. El máximo absoluto se produce en 1989 (7,56° C), el único año en el que se superan los 7° C de media. El rango de la variable es el más

alto de las estaciones de este ámbito (6,41° C), puesto que la ciudad, aun encontrándose en contacto con el mar Báltico, es la de clima menos determinado por la oceanidad de las analizadas en este ámbito, por lo que la variabilidad de las temperaturas es mayor que la de otras estaciones con climas regulados por la influencia marina. A pesar de lo dicho, es preciso subrayar que esta variabilidad va cayendo de forma considerable en los últimos años de la serie. La media móvil cada 8 años presenta un descenso escalonado hasta 1790, situándose el valor medio por debajo de 3° C; a continuación se observa un leve ascenso y descenso hasta llegar a la década de 1820, cuando se produce un fuerte incremento de las temperaturas (observado en el resto de estaciones del ámbito), que continúa con descenso algo menor la década siguiente. A partir de 1840 la serie entra en una fase relativamente estable, con ligeras oscilaciones, con un carácter general positivo, que perdura hasta 1930, cuando se vuelve a producir un gran aumento. Sin embargo, a este período le sucede otro (1940-1950) que muestra un descenso de mayor cuantía. Desde 1950 hasta la actualidad se observa un ascenso sostenido, con pequeñas fases de bajada, que sitúa la media de la temperatura por encima de los 6° C. Por último hay que reseñar el aumento de las temperaturas mínimas durante los últimos años, que, unido al descenso de la variabilidad interanual, son características propias de los climas urbanos, asociados a la llamada “isla térmica” (Landsberg, 1981).

La ciudad de Estocolmo (figura 16) está situada en un gran *skjär* en la costa oriental sueca. La serie termométrica cuenta con 240 años válidos, puesto que hay algunas faltas en los últimos años (concretamente: 1979, 1984, y de 1994 a 2001). La tendencia central de la serie es ascendente (con matices, como se expondrá más adelante) y significativa al 99 % de nivel de confianza, lo que se convierte en un incremento de 0,54° C cada siglo. El máximo absoluto se observa en 2006, no obstante encontramos otros de similar valor en 1975, 1938, 1934 y 1822. El recorrido de la variable es ligeramente inferior al observado en San Petersburgo (5,28° C). La representación de la media móvil cada 8 años presenta un comportamiento muy similar al comentado para San Petersburgo, quizá con cambios algo menos acusados, seguramente debidos a la mayor oceanidad del clima. Cabe resaltar un ascenso en los valores medios que se puede observar durante los 10 últimos años de la serie, pero es preciso tener en cuenta que no existen datos (o no están disponibles) desde 1994 a 2001, lo que ofrece un resultado poco fiable de este corto, pero crucial, período.

La capital de Letonia está emplazada en una gran llanura atravesada por el río Dau-gava, que desemboca en el golfo de Riga. Los datos de temperatura facilitados por la base de datos NOAA terminan en 1988, por lo que se ha procedido a completar la serie con un pronóstico elaborado a partir de los datos de una estación cercana. La serie (figura 17) presenta una tendencia significativa al 95 % de nivel de confianza suavemente ascendente, con un incremento de 0,26° C por siglo; es decir, una recta prácticamente horizontal. El valor medio anual es 6,11° C. Los cambios en esta serie atienden a fluctuaciones periódicas oscilantes, con un salto en los años finales. Los máximos absolutos de la serie se producen en 1824 y 1826 (8,8 y 8,94° C, respectivamente), no volviéndose a registrar temperaturas tan elevadas (en 1989 se registra un valor de 8,45° C). A la vista del gráfico de la media móvil cada 8 años lo primero que llama la atención es un gran ascenso/descenso entre 1820 y 1840. Se puede intuir el aumento registrado en otras estaciones en la década de 1820, y el posterior descenso. Sin embargo, la falta de datos alrededor del máximo y mínimo de

esa época produce un salto en el valor medio que, seguramente, no se corresponde con el comportamiento real de la temperatura (ascenso/descenso de forma gradual). A partir de 1840 la variable se estabiliza, con leves fluctuaciones, en torno a 6° C, hasta los años 90 del siglo XX, cuando se produce un incremento importante (1,5° C aproximadamente en el valor medio). Se observa una caída en la variabilidad interanual de los registros, así como un marcado aumento de las temperaturas durante los últimos años, que coincide con el “despegue urbano” de las repúblicas eslavas bálticas. Por tanto, ambos son hechos que se pueden achacar al fenómeno urbano anteriormente comentado, y que, en este caso, no son atenuados por la proximidad del mar, como ocurre en otras estaciones urbanas.

La serie termométrica de la estación histórica de Vilna (figura 18) presenta un comportamiento semejante al explicado en Riga, si bien la tendencia general de la serie es tenuemente descendente (prácticamente sin pendiente), a razón de -0,01° C por siglo, por lo que no se establece una relación significativa al 90 % o más de nivel de confianza. La temperatura media anual es 6,31° C, y varía entre 4,08° C (en 1941) y 8,36° C (en 1836). La variabilidad interanual es bastante escasa; sin embargo, se aprecia un descenso de ésta durante los últimos años (de forma análoga al comportamiento de la serie de Riga). La representación de la media móvil cada 8 años es equivalente al de las anteriores, mostrando los importantes ascenso/descenso en 1820-1840 y 1930-1950, y un leve repunte durante los últimos 15 años.

La ciudad de Copenhague (figura 19) se encuentra en la isla de Selandia, a orillas del estrecho de Kattegat, que une el mar Báltico con el mar del Norte. La serie de la estación histórica cuenta con datos mensuales de temperaturas desde 1768. De 1998 a 2006 ha sido necesario completar la serie mediante la elaboración de un pronóstico a partir de los datos de una estación emplazada también en la ciudad. El comportamiento de la serie es similar al observado en la estación de Estocolmo. La tendencia central de la serie es significativamente ascendente a un nivel de confianza del 99 %, y arroja un incremento de 0,62° C cada siglo. Los mínimos absolutos se encuentra en 1838 y 1840 (5,3 y 5,1° C, respectivamente). Aunque el máximo se registra en 2006 (10,05° C), se observan varios años con valores semejantes a partir de 1930 durante el siglo XX, y en el siglo XVIII. El gráfico de la media móvil cada 8 años resalta aún más las similitudes con la serie de Estocolmo. Cabe reseñar el consabido incremento de la década de 1820, que en este caso es de menor cuantía que en resto de estaciones de este ámbito. Por otro lado, es preciso destacar que los datos térmicos de Copenhague registran el segundo mayor incremento de todas las series históricas europeas, que como se ha señalado es de 0,62° C/siglo. Asimismo, los efectos de la urbanización en las temperaturas que se observan en esta estación (incremento de los valores mínimos, amortiguación del recorrido de la variable) son más ligeros que en otras estaciones urbanas, probablemente atenuados por la influencia marítima.

Edimburgo (figura 20) se localiza en la vertiente oriental de la costa escocesa, situada entre dos cadenas montañosas y el Mar del Norte. A raíz de su situación, Edimburgo goza de un clima moderado por la influencia marítima, considerando su latitud Norte (similar a Moscú o Labrador, en Groenlandia). Desde 1999 ha sido preciso completar la serie con un pronóstico elaborado con datos de una estación cercana, puesto que los datos de los últimos años no se han tomado o no están disponibles. La tendencia central de la serie es significativa al 99 % de nivel de confianza, y muestra un aumento de 0,34° C por siglo. La



temperatura media oscila entre 6,56° C (mínimo absoluto en 1879) y 9,83° C (en 1997), por lo que el recorrido de la variable es el más bajo de todas las estaciones estudiadas del área “circumbáltica”, siendo éste 3,26° C, y poniendo así de manifiesto la moderación y la influencia oceánica del clima de la zona costera. No se puede hablar de un máximo claro en la serie, puesto que encontramos multitud de años en el siglo XX que registran valores semejantes al año 1997 (2005, 1990, 1971, 1959, 1949, 1945, 1921...), incluso en el siglo XIX (1857 y 1846). La media móvil realizada para cada 8 años muestra la moderación ya comentada, pues el valor medio se sitúa siempre entre 8 y 9° C (sólo superado a partir del 2000). Se puede apreciar que las sucesivas fases ascenso/descenso presentan una distribución similar al resto de estaciones analizadas en este ámbito, aunque se producen de forma mucho menos acusada. Por último, cabe reseñar la caída de la variabilidad interanual de las temperaturas en los últimos años, unida al incremento de los valores medios, y el aumento de los valores mínimos, como también se ha comentado en las estaciones analizadas anteriormente.

### *Estados Unidos de América*

De las series temporales de los Estados Unidos de América sólo tres disponen de registros que inicien su muestreo en el siglo XVIII y no tengan excesivas lagunas. No obstante, para disponer de más datos que aporten luz a la variabilidad temporal del clima norteamericano, el trabajo se apoya en la evolución de la temperatura anual de estaciones con registros desde las primeras décadas del siglo XIX. Estas series temporales se distribuyen en tres ámbitos geográficos diferentes, que son: las grandes ciudades de la costa Nordeste y Este de los Estados Unidos de América (Nueva York desde 1821, Portland desde 1821, New Bedford desde 1812, Baltimore desde 1817 y Filadelfia desde 1758, pero con un hueco de 93 años consecutivos entre mediados del siglo XIX y el XX), y en las cuencas de los ríos Hudson (Poughkeepsie desde 1828) y Mississippi, (Baton Rouge, con datos desde 1822), todas ellas con registros hasta el año 2005.

Pese al escaso número de series temporales con datos desde el siglo XVIII, la amplia distribución espacial entre las estaciones (una diferencia de once grados de latitud entre Albany, en el interior Nordeste y Natchez, al Sur, en latitudes subtropicales) permite ofrecer una visión general, no exenta de cautela. No se dispone de datos de temperatura superficial de la costa Oeste de los Estados Unidos de América hasta la mitad del siglo XIX, por lo que no se han incluido en este trabajo, por razones obvias: no se había colonizado por los EE.UU.A. Todas las ciudades analizadas tienen un clima Cfa según Köppen (templado húmedo de veranos cálidos), característico de las fachadas orientales de los continentes, aunque con notables diferencias térmicas y pluviométricas según su latitud y grado de influencia oceánica.

La evolución temporal de la temperatura media y las medias móviles arrojan sensibles diferencias para las diferentes estaciones norteamericanas al menos tricentenarias. Albany, ciudad de unos 559.000 habitantes, localizada en el tramo medio del río Hudson y a unos 240 km de la costa atlántica, registra valores actuales del mismo orden que la mayor parte de la serie temporal. En ella llaman la atención algunos períodos más fríos ocurridos en las décadas sesenta y setenta del siglo XX y, durante 1835-1838 y 1874-1875, año éste en

el que se produce el mínimo de la serie (Figura 21). La anomalía negativa del siglo XX ya comentada anteriormente, podría explicarse en parte por la fuerte actividad volcánica del volcán Agung durante 1963 y 64 (Sigurdsson, 1990), aunque la extensión temporal del descenso térmico es demasiado amplia para responder a una sola causa.

Por otro lado, resulta extraño, que los mínimos térmicos mencionados del siglo XX coincidan en la década de los sesenta, que es la de mayor actividad solar (Rebetz y Beniston, 1998, NASA, 2007). Sin embargo, debe matizarse que las series temporales de radiación solar, pilar fundamental del balance radiativo terrestre, están elaboradas a partir de datos directos (de satélite sólo desde los años sesenta) e indirectos, esto es, mediante "proxy data", con anterioridad a dicha década. Así, el número e intensidad de manchas solares al año, parámetros que se utilizan para conocer la variabilidad natural del Sol, sólo se han medido con exactitud desde las cuatro últimas décadas, por lo que las correlaciones entre la actividad solar y la temperatura superficial de la Tierra son complejas, no sólo por la histéresis entre ambas variables, sino por la dificultad de cuantificar con precisión las variaciones de la radiación solar en fechas anteriores a 1960, lo que, en la práctica, se restringe a una escala ordinal. Estudios recientes (NASA, 2007) apuntan a un mayor peso de la intensidad de las manchas solares, y en contra de su frecuencia, de modo que años aparentemente poco activos en cuanto al número de manchas pueden tener pocos episodios muy activos con gran repercusión en las temperaturas de la Tierra. La anomalía negativa de la temperatura media posterior a los años cincuenta del pasado siglo, tan frecuente, pero no universal (hay muchas estaciones meteorológicas que no la detectan, sobre todo en algunas grandes ciudades), parece responder a causas solares, hecho que creó un estado de opinión durante las décadas de los sesenta y setenta hacia un enfriamiento del Planeta e incluso se pronosticaba la inminente llegada de una nueva etapa glacial (titular del New York Times, 21 de mayo de 1975).

En cuanto a los valores más elevados en la serie temporal de Albany puede afirmarse con rotundidad que no son recientes, sino que se producen con una separación de más de cien años (1828 y 1931), con un tercer máximo intermedio, en 1881. Parece claro que los valores de la quincena más reciente, 1991-2006, no recogen ni los mínimos ni los máximos de la serie y, además, las medias anuales son muy similares a la mayor parte del período analizado, por ello los pronósticos a un futuro próximo no prevén aquí cambios significativos.

La estación de Poughkeepsie, localizada también en el valle del río Hudson, pero a unos 115 km al sur de Albany y a 80 km de la costa, registra también una tendencia lineal negativa ( $-0,3^{\circ}\text{C}/100$  años), del mismo orden que la serie de Albany y, comparte las fechas de algunos valores extremos de la temperatura media anual, con mínimos en 1837 y máximos no recientes (en 1828 y 1941).

Respecto a la media móvil cada 15 años de Albany, cabe destacar la reducida variabilidad (menos de  $1,5^{\circ}\text{C}$ ), pese a estar bastante alejada de la influencia marítima. Parece dibujar una curva sinusoidal con máximos amplios (en torno a  $9,5^{\circ}$ - $9,6^{\circ}\text{C}$ ) y mínimos reducidos (con valores entre  $8,1^{\circ}$ - $8,2^{\circ}\text{C}$ ) y, una separación temporal entre estos breves períodos de mínimos de casi cien años. Los valores actuales de la media móvil, en torno a  $9^{\circ}\text{C}$  están, por tanto, en una posición intermedia.

La serie temporal de Boston, por el contrario, podría servir de buen ejemplo a los defensores del imparable calentamiento del Planeta, pues la temperatura media anual mantiene una evolución ascendente, con incrementos de más de 1,5° C desde su inicio, a mediados del siglo XVIII hasta la actualidad. Además, el resto de ciudades de la costa oriental de Norteamérica muestran, también, tendencias de la temperatura del aire muy similares. Si atendemos a las medias móviles cada 15 años las diferentes series analizadas en este litoral americano arrojan incrementos entre 1° C (Filadelfia y Portland) y 2° C (Nueva York, New Bedford y Baltimore), manteniendo Boston ascensos intermedios, en torno a 1,5° C. Sin embargo, no debemos dejar de comentar en qué época se produce el principal ascenso térmico de la serie temporal, pues este aspecto no puede considerarse baladí en la hipótesis del cambio climático, como se tratará de explicar a continuación. Casi todas las series temporales de la costa E norteamericana presentan ascensos bruscos de la temperatura media anual a lo largo del siglo XIX y primeras décadas del XX y, estabilizan su media móvil desde varias décadas atrás, tal y como se advierte en la figura 22. Esto podría interpretarse como un nuevo equilibrio térmico tras alcanzar un nuevo umbral, en el que la media anual no continúa ascendiendo indefinidamente, como podría deducirse de observar tan sólo la recta de la tendencia lineal (figura 22), en la que sólo se tiene en cuenta el incremento de principio a fin de la serie. Así, Boston y Baltimore muestran una media móvil casi plana desde los años ochenta del siglo XX (o desde los cincuenta si se obvia el pequeño descenso de los sesenta), New Bedford desde los años setenta y, sólo las megalópolis de Nueva York y Filadelfia no advierten el probable nuevo equilibrio o desaceleración del incremento térmico hasta los inicios de los noventa.

Respecto a cuándo se registran los valores máximos en la costa E norteamericana, éstos se producen hacia mediados del siglo XX en la ciudad de Boston, en 1975 en New Bedford, a primeros de los noventa en Nueva York y Baltimore y, sólo Filadelfia la registra en la última década (en 1997). En todas las estaciones con registro hasta 2006, los pocos años correspondientes al siglo XXI no destacan por ningún valor extremo. Este hecho parece contradecir algunas afirmaciones del IPCC y demuestra la validez de que en la actualidad no proliferan los episodios extremos (Ojeda Martín y Sanz Donaire, 2005)

De todas las ciudades analizadas del E norteamericano llama la atención la serie temporal de Portland en el estado de Connecticut, a sólo 35 km de la costa y 150 km de Boston o Nueva York, por la gran similitud con las series del valle del río Hudson (Albany y Poughkeepsie), con máximos térmicos a finales del siglo XIX y valores actuales muy acordes con los medios de la serie. Cabe preguntarse si esta pequeña ciudad, cuya población no alcanza los 10.000 habitantes, no muestra síntomas de “calentamiento global” porque no le llega la influencia marítima (al igual que las restantes ciudades del valle del río Hudson), supuestamente más cálida en la actualidad debido al hipotético deshielo del Ártico o, simplemente, que su pequeña población no muestra los síntomas característicos de los climas urbanos, mucho más cálida que su entorno, especialmente por las noches, variable que incide en las medias diarias, mensuales y anuales (Landsberg, 1981, Oke, 1997, Fernández *et alia*, 1998, Pérez y García, 2002).

Por último, la serie temporal del tramo bajo del río Mississippi, Natchez, pese a sus dos interrupciones en los inicios y último tercio del siglo XIX, muestra oscilaciones de la media móvil en torno a 1,5° C, que varía de unos 19,6°-19,8° C en los períodos más cálidos

(ocurridos con anterioridad a los últimos cuarenta y cinco años) a 18,3°-18,7° C en los más frescos (a excepción del probable falso descenso de esta variable a finales del siglo XIX producido por la escasez de datos).

Los valores de la media móvil de la quincena más reciente roza los 19° C, valores intermedios entre ambos períodos, tal y como ocurre dos mil kilómetros al NE en el valle del río Hudson. Los valores máximos de la serie temporal, tanto en esta estación como en la de Baton Rouge, situada unos 120 km al sur, se producen en 1921, año en el que se alcanza en ambas series unos 2° C más de media anual que en el año 2005.

En relación a los valores registrados desde finales del siglo XVIII o primeros del XIX las medias anuales de los pocos años del siglo XXI se definen como bajas en Natchez (inferiores al 20 % de datos de la serie) y normales en Baton Rouge (entre el 40 y el 60 %). Por ello, ninguna de las dos estaciones muestra tendencias lineales significativas, pues, en este caso, la variabilidad ocurrida por siglo es insignificante, de -0,06°/siglo en Natchez a -0,07° C/siglo en Baton Rouge, lo que equivale a decir que no ha presentado cambios apreciables en la temperatura media anual a lo largo de todo su período instrumental y, además, los valores de la última quincena tampoco pueden apoyar la tesis del cambio climático, al menos en cuanto a temperaturas medias anuales se refiere.

No podemos pasar por alto el hecho de que los pronósticos globales de calentamiento del Planeta realizados por algunos organismos oficiales (NCDC de NOAA o del centro de predicción del clima de la Universidad de Reading) ofrezcan escasas regiones (mejor dicho círculos, aunque más se asemejan a puntos, si bien “gordos”) con tendencias levemente negativas y que “casualmente” coincidan con las series temporales más largas. ¿No será que dichos modelos basan sus pronósticos en un gran número de series temporales muy cortas que no se ajustan a la realidad reciente del clima o, es mera casualidad el obtener en dichas series cuatricentenarios mayoría de ausencia de calentamiento?

Por tanto, la evolución de las tres regiones estudiadas de los Estados Unidos de América nos lleva a no poder atribuirle el calificativo de global al posible calentamiento del Planeta, pues sólo se produce en una de ellas, la costa NE, en la que no debe minimizarse el efecto urbano de muchas megalópolis y algunas conurbaciones.

### *India*

Entre las estaciones localizadas fuera del ámbito climático templado, que se remontan hasta el siglo XVIII, sólo existe una serie temporal, enclavada en la ciudad de Chennai, más conocida en la sociedad occidental como Madrás. Esta localidad costera del SE de la India, situada junto al golfo de Bengala, tiene un clima As según Köppen, esto es, cálido, de sabana tropical y muy húmedo (2.900 mm anuales), con máximos pluviométricos en el equinoccio de otoño, característicos del clima monzónico de esta región. Frente a la aparente bondad de esta serie por disfrutar de un clima mesotérmico y muy húmedo, debemos considerar también que Chennai es una gran megalópolis, con una población en torno a los 6,4 millones de habitantes (censo de 2001), que ha transformado totalmente su espacio natural en una abigarrada población, destacando, hoy en día, en el puesto trigésimo quinto de las ciudades más densas del Planeta.

El gran déficit de la serie extra-templada se intentará paliar con otras tres estaciones de la India que disponen de datos desde el siglo XIX: Calcuta (desde 1816), Bombay (desde 1851) y Akola (desde 1875).

La figura 24 representa los valores anuales de la temperatura y la media móvil cada 15 años. El valor más elevado de la serie se registra en 1833 (recuérdese que es un “pico solar”), dato que podría parecer erróneo, tanto por lo extremo, como por la gran fluctuabilidad de la temperatura media anual durante las primeras décadas del siglo XIX, a no ser porque Calcuta, a unos 1300 km al nordeste de Chennai, muestre idéntica variación térmica. En ambas series, entre 1796 y 1842, se producen los valores extremos, con una amplitud máxima de 2,3° C en Chennai (3,4° C en Calcuta), lo que debería matizar la tan difundida regularidad térmica de los climas tropicales muy húmedos.

Los valores de temperatura media de Chennai mantienen una mayor regularidad entre 1870 y 1980, fecha en la que la media móvil inicia un ascenso térmico progresivo de 0,2° C/ década. En el último año (2006) se registra el segundo máximo térmico de la serie, sólo 0,4° C inferior al ocurrido en 1833.

Sería deseable que la evolución de la media móvil observada en Chennai, muy acorde con la tesis del calentamiento del Planeta, fuese compartida por las restantes series temporales de la India. Sin embargo, no es así, lo que, al menos, pone de manifiesto la complejidad del sistema climático. En Bombay y en Calcuta lo más llamativo es el brusco ascenso térmico entre el último cuarto del siglo XIX y finales de los años cincuenta del XX, con tendencia al aplanamiento de las medias anuales en las cuatro décadas más actuales (Pérez González, 2006). Respecto a la serie de Asola, el fuerte incremento térmico se retrasa hasta la segunda década del siglo XX y finaliza, al igual que en el resto de estaciones, en los años cincuenta. Esta serie difiere de las anteriores en que la temperatura anual es ligeramente descendente en la actualidad, sin los síntomas típicos del calentamiento progresivo.

Por último, el conjunto de estaciones tropicales de la India muestra ascensos netos de las medias móviles, pero con una tendencia reciente dispar: Chennai con un ascenso claro, Calcuta y Bombay, con valores actuales sostenidos y Akola, decreciente. ¿Puede ser esto un síntoma de aleatoriedad o de diferentes causas para explicar la variabilidad térmica interdecadal o intersecular?

## ESTUDIO COMPARADO

Se ha procedido a representar en un único gráfico los de las medias móviles de las estaciones del centro y W europeo (Figura 25), poniéndose de relieve la coincidencia, en lo esencial, de las mismas. Aquí se manifiestan los acontecimientos más importantes y comunes a muchas estaciones, que podemos resumir del siguiente modo:

- la primera mitad del siglo XVIII se caracterizó por tener las temperaturas más frías hasta la actualidad
- existe una gran disparidad de tendencias parciales, obtenidas a partir de la media móvil cada 8 años, debido fundamentalmente al diferente período analizado, pues las series se inician en momentos distintos

- casi todas las series (De Bilt, Tréveris y las dos berlinesas), tuvieron un brusco ascenso térmico en el siglo XIX, que finalizó en hacia 1870. Sólo París muestra una tendencia contraria en este período, trasladando el ascenso térmico a la primera mitad del siglo XX. La falta de conformidad de esta estación debe responder más a factores locales
- de igual modo, también se advierte un período más frío entre 1960 y finales de los años ochenta
- en general las temperaturas de los últimos años, aún siendo cálidas o muy cálidas, no son excepcionales en ningún caso.

La figura 25 se ha dibujado intencionadamente conservando los valores originales de las series suavizadas, porque si los datos se hubiesen relativizado (por ejemplo dividiendo por la media y multiplicando por 100), la representación sería menos clara, hasta tal punto que impediría su visualización y comentario.

La figura 26 relaciona las curvas de las medias móviles del ámbito circumpolar, de las que destaca:

- Tendencias variadas en la segunda mitad del XVIII, aunque Basilea y Ginebra se parecen mucho en cuanto al trazado. Finaliza el siglo con uno de los más claros máximos, presente en todas y cada una de las gráficas
- La primera mitad del XIX se caracteriza por albergar una bajada, una subida (menor) y otra bajada de la temperatura, en ciclos que duran aproximadamente 17 años, por lo que los 1850 son años de valores bajos
- La segunda mitad del XIX presenta otra subida, bajada y subida, de tal modo que tras el cambio de siglo suelen verificarse alzas importantes
- La primera mitad del siglo XX hace gala de una subida generalizada, con cierto ciclo frío en los años 40
- La segunda mitad del XX presenta casi con absoluta uniformidad la anomalía térmica del XX (con mínimos, en algunos casos casi de toda serie), para dar paso a un ascenso final, no exento de vacilaciones.
- La comparación de las medias móviles cada 8 años de las estaciones históricas norteyuropeas ( figura 27) pone de manifiesto lo común de la distribución de los datos de todas ellas. Los rasgos principales son:
  - La influencia marítima, que actúa como termorregulador, así como las variaciones que introduce el “fenómeno urbano”, son caracteres primordiales de estas estaciones.
  - Las mayores variaciones se producen durante la primera mitad del siglo XIX, registrándose un descenso importante hasta 1820 (no apreciable en Vilna), seguido de un gran incremento en la década de 1820 (recuérdese que la serie de Riga no tiene apenas datos en esa época, por lo que la media móvil presenta un recorrido extraño); y de otra bajada, a continuación, de igual cuantía.

- Desde ese momento (1840 aproximadamente) hasta 1930, la variabilidad interanual cae de forma notable, con pequeñas oscilaciones que se cifran en torno a 1° C. La tendencia central de este período es suavemente ascendente o no existe.
- El período 1930-1940 registra otro gran repunte, seguido de una caída semejante, que llega hasta mediados de los años 40 (tenue o inapreciable en Edimburgo).
- El tramo final de las series, desde 1950, presenta un incremento de las temperaturas, fundamentalmente durante los últimos años (cabe recordar que la serie de Estocolmo, la de mayor aumento en la última década, no cuenta con datos de 1994 a 2001). Las elevadas temperaturas registradas a lo largo de los últimos 25 años no son, salvo en el caso de San Petersburgo, singulares, puesto que se observan valores similares en fases previas.
- Edimburgo (la estación menos asimilable a este ámbito) muestra un comportamiento similar al resto; no obstante, las variaciones son menos acusadas.
- Por último, es preciso recalcar la dificultad para encontrar datos desde 1980 (hecho, éste, insospechado *a priori*) en todas las series recogidas en este ámbito. La base de datos NOAA no dispone de 26 de los últimos 27 años para la estación de Trondheim; faltan 19 años para Riga y Copenhague; 16 de la estación de San Petersburgo..., con lo que los años finales deben ser tomados con cautela.

Con el fin de que la impresión visual de los gráficos anteriores quedase corroborada por una prueba analítica se continuó efectuando una tabla de doble entrada de comparación de todas las series de las medias móviles. Como se sabe este procedimiento sólo trabaja con aquellos años en que coincidan todas las veinticuatro series. Así, la correlación de todas las series estudiadas, por la presencia de amplias lagunas e interrupciones anuales, se reducía a 39 años, que, además, se concentraban en la segunda mitad del XX (se correspondían con los años 1890, 1894-97 y con la serie de 1941 a 1980, salvo el 42, 45, 64, 72-73, 77 y 79). Los coeficientes para Europa arrojaban, a menudo, notables incongruencias<sup>3</sup>, lo mismo que separaban a Madrás de las restantes estaciones, o ponían en evidencia la falta de unidad entre los observatorios americanos. Este hecho obligó a un replanteamiento del problema: se restringiría el trabajo a las estaciones europeas, descartando además aquéllas con entrada más tardía y mayor número de lagunas: así se desestimaron Tréveris, Berlín Dahlem y Vilna. El resultado obtenido puede verse en el cuadro 5, que se ha realizado de la comparación de 132 años. Los años utilizados se reparten del siguiente modo: 3 del XVIII, 57 del XIX, 68 del XX y 4 del XXI. Debe consignarse que desde 1980 hasta el 2001 hay interrupción en las correlaciones, por lo que no son posibles en los momentos más discutidos. Este hecho tal vez se deba a una intencionada política de ofrecer poca información. Recuérdese que la información es poder.

Como comentario general puede decirse que todos aquellos valores de correlación superiores a 0,7 se han destacado en gris y se consideran aceptables (lo que equivale a admitir un R<sup>2</sup> del 50 % aproximadamente). Las correlaciones superiores a 0,9 son, sin em-

<sup>3</sup> Por ejemplo: Ginebra, Milán, Tréveris, Trondheim y Edimburgo no tenían coeficientes de correlación > /0,85/ con ninguna otra estación, aunque, en parte, este comportamiento sea achacable a su situación periférica, luego difícilmente agrupable.

bargo, las que se toman como garantía de un buen ajuste. Las regiones climáticas se ponen de manifiesto en esta tabla de correlación, dado que las estaciones más cercanas entre sí suelen arrojar los valores de correlación más elevados. A modo de ejemplo: Copenhague se correlaciona por este orden: con Estocolmo, Basilea, S. Petersburgo, Viena y Budapest. Son notables las relaciones de las dos capitales del antiguo Imperio Austro-húngaro, separadas apenas unos kilómetros y unidas por el Danubio; Hohenpreissenberg se estrecha a Munich, y más lejanamente a Viena, Budapest y París (¿?). Es llamativo que las dos series más largas, De Bilt y Berlín Tempelhof no se correlacionen significativamente con ninguna estación. Otro tanto hacen Trondheim, Wroclaw o Riga, y ello a pesar de estar enclavadas dos de ellas entre otras. Trondheim, por el contrario, puede ostentar individualidad por su localización periférica. Pero, según esta hipótesis, Edimburgo quedaría aún más aislada, lo que no se cumple al hallar ciertas semejanzas con Estocolmo y San Petersburgo. La estación más relacionada no es la más central, sino Basilea, que tiene correlaciones aceptables con 8 de las 16 estaciones estudiadas restantes. Para finalizar Milán sólo se relaciona, y débilmente, con Ginebra. En definitiva las correlaciones, aunque genéricamente respondan a la proximidad geográfica, no siempre cumplen con la regla de la máxima cercanía: son otros factores los que enmascaran las relaciones, tan diversos y difíciles de aislar, que el comportamiento puede considerarse un tanto aleatorio.

Aún conscientes de la escasez de datos para un tratamiento cartográfico, el uso de una escala apropiada permite distinguir las tendencias espaciales, si las hubiere. La presencia de datos especialmente abundantes para Europa desaconseja el trabajo con mapas mundi y restringe el ámbito a la Europa Central y Septentrional. Se ha utilizado para ello una proyección cónica tangente con paralelo automecoico central, muy próxima a ser equiárea o equivalente, de tal modo que permite el estudio adecuado de las superficies. El mapa expone la existencia de dos ámbitos bien diferentes: mediante la escala de grises se rellenan las áreas de tendencia negativa; el valor en torno a 0 se mantiene en blanco y las tramas de puntos se reservan para las tendencias positivas. No se ha hecho distinción en cuanto a la significación estadística, atendiendo a lo que se mencionó más arriba. Destaca en el área positiva que ocupa el 98,4 % del conjunto cartografiado. Afecta, a modo de dorsal, a las márgenes del Báltico, lo que, por ejemplo, podría explicarse por un levantamiento generalizado del escudo del mismo nombre, que redujera la profundidad del mar e hiciera a éste más fácilmente caldeable. Es llamativo que, a tenor del mapa, este comportamiento también podría afectar al Mar del Norte<sup>4</sup>, que también podría estar sufriendo epirogénesis. Otra posible causa del calentamiento progresivo del Báltico sería a consecuencia de una mayor contaminación de las aguas, especialmente sensible en las capas superficiales, con repercusión en las temperaturas del aire. Más difícil de explicar son los valores negativos de Tréveris, que muestran un enclave no sólo achacable a la propia naturaleza fragmentada de los datos disponibles, por cuanto que los valores neutros (cerca de 0) se continúan por la Llanura Polaca, si bien con la interrupción de las estaciones berlinesas. En definitiva, el mapa muestra un número alto de enclaves, que hubieran crecido en cuantía en el caso de

<sup>4</sup> Frente a la moda actual de escribir estas expresiones la primera palabra con minúscula, por que mares hay muchos, y sólo la segunda con mayúscula, porque es lo genuinamente "propio", es nuestra opinión que todo el conjunto "Mar del Norte" debe ir sustantivado porque se refiere a un lugar irrepetible (nombre propio). De otro modo también nuestros nombres deberían escribirse en minúsculas y reservar la mayúscula para el apellido...



haber utilizado una escala de valores de tendencia con 20 clases (el número recomendado). Aún y así destaca que para las veinte estaciones aparezcan ocho enclaves (40%), cuando una distribución totalmente aleatoria podría reflejar tantos enclaves como uniones, luego el número de enclaves debería ascender al 50%. Este valor tan próximo al teórico parece mostrar, con la salvedad de la superficie ocupada por las tendencias positivas, una imagen muy próxima a la aleatoria teórica.

## CONCLUSIONES

Una de las primeras conclusiones a las que llega este artículo es que el modo de obtención de los datos ha cambiado desde la novena década del XX, al ser sustituidas muchas de las estaciones manuales por automáticas, lo que implica el paso del cálculo de la media diaria del modo tradicional (promedio de las temperaturas máxima y media diarias) al nuevo, fruto de la media de 8.460 valores (cada 10 segundos). Este hecho puede ser de profundas repercusiones, lo que explicaría la inhomogeneidad de las series.

Las temperaturas alcanzadas en los últimos 16 años (desde 1991 en adelante, fecha del comienzo del nuevo período “climatológico normal”) en la casi totalidad de los casos estudiados son compatibles con los valores que se han registrado en otros momentos de las largas series temporales, escogidas -a voluntad- desde el siglo XVIII. Efectivamente de las 24 estaciones estudiadas, sólo Basilea ofrece para los años finales 0,8° C más que en otro momento; en las restantes series se suelen superar, hasta en más de medio grado, los valores del XXI en otras fechas, frecuentemente del XVIII (París, Berlín Dahlem, Copenhague) o del XIX (De Bilt, Estocolmo, Vilna, Riga, Tréveris, Albany, etc.). ¿Acaso el calentamiento no ha llegado ya, a pesar de lo que machaconamente pregonan los medios de comunicación?

Los años de las máximas temperaturas varían bastante, lo que habla de falta de argumentos frente al “calentamiento global”. Por lo general los tiempos del siglo XXI son más bien de bajada térmica, dado que los máximos suelen ostentarlos el año 2000 (Viena, Berlín Tempelhof) y 2002 (Budapest, Basilea, ...), aunque no son extraños los valores máximos en 2006 (De Bilt, Copenhague...). San Petersburgo alcanza su máximo en 1989, Natchez en 1921, Albany en 1828, Munich en 1994, Madrás en 1833, Trondheim en 1930, Tréveris en 1811, Riga en 1824, etc. Todo parece indicar que, a pesar de lo que se dice en los medios de comunicación de masas, el comportamiento se aproxima más a la aleatoriedad que a un aumento definido final.

Las tendencias lineales recogidas en el cuadro 2 son harto dispares, incluso para estaciones muy próximas entre sí, caso de las dos de Berlín. Ello no es causado únicamente por la longitud y posición de los años contemplados en la serie. La significación estadística también ha sido cuestionada por cuanto que una tendencia puede no serlo, si bien ello no implica ausencia de lógica: simplemente no existe tendencia. Y este resultado que, estadísticamente, sería poco seguro utilizar, puede -y, de hecho, es- lógico, aunque la mayor parte de los investigadores se vieran tentados a no considerarlo.

La variabilidad de las tendencias lineales también parece poner de manifiesto que no existen pautas espaciales bien definidas. Ya en el comentario al mapa de Europa, el único que se puede realizar, ha quedado expuesto que por el número de enclaves, la distribución

de máximos y mínimos, predominan los aspectos aleatorios antes que las tendencias, y ello aunque, con toda intención, se ha buscado un interpolador, el krigado, que prioriza las tendencias espaciales sobre el tratamiento individualizado de las estaciones.

Las medias móviles recogidas en los gráficos 25 a 27 a primera vista ofrecen bastantes similitudes. Pero la comparación mediante unas simples correlaciones dan a entender la disparidad de las mismas para, incluso, lugares cercanos: la proximidad geográfica no es argumento suficiente para justificar la cercanía temporal de la serie. Una vez más sobresale el carácter aleatorio de esta prueba.

Finalmente, todo apoya a una distribución aleatoria tanto en lo temporal como geográfico, corroborándose el principio ergódico: tiempo y espacio son intercambiables.

## BIBLIOGRAFÍA

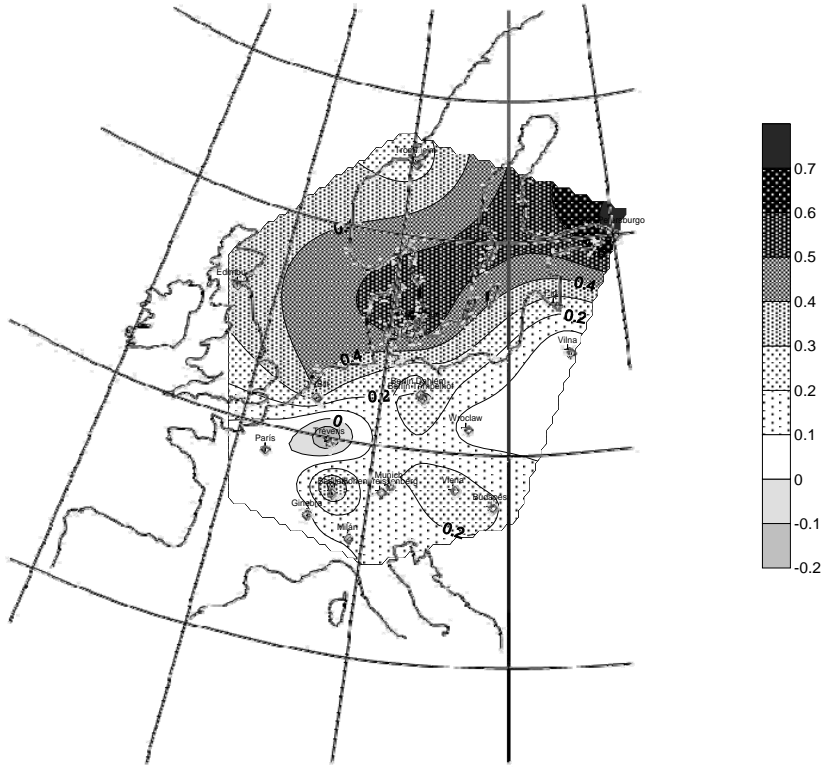
- Balairón, 2006. El cambio climático: interacciones entre los sistemas humanos y naturales. En Sanz Donaire (Coor.). *Rev. Estudios Económicos: Mitos y Realidades del Cambio Climático*, núm.3-4, 127-175, Madrid.
- Blanchard E., 2002. Antarctic Warming? , *Weather*, 56, 453-454.
- Chylek P. et al., 2006. Greenland warming of 1920-1930 and 1995-2005, *Geophysical Research Letters*, 33, 11, L11707.
- Hanna E & Cappelen J., 2003. Recent cooling in coastal southern Greenland and relation with the North Atlantic Oscillation, *Geophysical Research Letters*, **30**, **3**, **32**.
- Fernández, F.; Galán, E.; Cañada, R. (Coord.). 1998: *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*, Arteluz, Madrid, 606 pág.
- Landsberg, H. 1981. *The urban climate*. London Academic Press, 275 pp.
- Levitus S. et al., 2000. Warming of the world oceans, *Science*, 287, 2225-2229.
- Levitus S. Et al., 2005. Warming of the world ocean, 1955-2003, *Geophysical Research Letters*, 32, L02604.
- OJEDA MARTÍN, M<sup>a</sup> R. y SANZ DONAIRE, J. J. (2005): ¿Se acentúan ahora las catástrofes climáticas en España?, *Observatorio Medioambiental*, IUCA-UCM, Madrid, n<sup>o</sup> 8, págs. 153-173.
- Oke, T.R., 1997. Urban climates and global environmental change. In: R.D. Thompson and A. Perry, Editors, *Applied Climatology*, Routledge, London, pp. 273.287.
- Oppenheimer M. 1998. Global warming and the stability of the West Antarctic Ice Sheet, *Nature*, 393, 325.
- Pérez González, M<sup>a</sup> E. 2006. "El cambio climático y las temperaturas". En Sanz Donaire (Coor.). *Rev. Estudios Económicos: Mitos y Realidades del Cambio Climático*, núm.3-4, 177-208, Madrid.

- Pérez González, M<sup>a</sup> E. y García Rodríguez, M<sup>a</sup> P. 2002. Cartografía térmica del área metropolitana de Madrid a partir del sensor ETM del Landsat 7. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. extraordinario: 377-386.
- Pérez González, M<sup>a</sup> E. y García Rodríguez, M<sup>a</sup> P. 2006. Críticas al cambio climático a partir de la evolución de la temperatura en El Atlántico Norte. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. 26: 95-116.
- Pérez González, M<sup>a</sup> E. y García Rodríguez, M<sup>a</sup> P. 2007. "Evolución de la temperatura del Pacífico a lo largo del período instrumental". *M+A Revista Electrónica*, 3:23-52.
- Peterson, Th. C. and Easterling, D. R. (1994). Creation of homogeneous composite climatological reference series. *International Journal of Climatology*, 14, 671-679.
- Peterson, Th. C., Vose, R. S., Schmoyer, R. and Razuvaev, V. (1997). Quality control of monthly temperature data: The GHCN experience. *International Journal of Climatology*.
- Moore G. et al., 2002, Climate change in the North Pacific region over the past three centuries, *Nature*, 420, 401-403.
- Rebetez M & Beniston M. 1998. Changes in sunshine duration are correlated with changes in daily temperature range this century: an analysis of Swiss climatological data, *Geophysical Research Letters*, 25: 3611.
- Sanz Donaire, J. J. 1999: Escepticismo al "cambio climático": El caso de las temperaturas. *Nimbus*, Almería, n<sup>o</sup> 4, págs 173-198.
- Sanz Donaire, J. J. 2000: Autorregulación frente al "cambio climático": uso de modelos no lineales con las temperaturas. *Nimbus*, Almería, n<sup>o</sup> 5-6, págs 91-124.
- Sanz Donaire, J. J. 2005: Futuro energético mundial que no cambio climático, Aularium, CAP Retiro, n<sup>o</sup> 5, págs 16-24.
- Sanz Donaire, J. J. en prensa: Dudas ante el cambio climático. Enciga, Santiago de Compostela, 37 págs.
- Sigurdsson, H. 1990. Evidence of volcanic loading of the atmosphere and climate response, *Palaeogeography*, 89:277-289.

### Direcciones de Internet consultadas

<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>

<http://www.ncdc.noaa.gov>



Mapa 1: Distribución geográfica de las tendencias

Cuadro 3. Berlín dahlern.

Modelo	Expresión	pendiente	C.C.	R <sup>2</sup>	Signif.	p	R2000	E2000	E2050	E2100	R-E	Δ° C/100 a
Lineal	$t=6,33+0,0014a$	0,00143	0,108	1,17	No	0,107	9,67	9,17	9,24	9,32	0,5	0,15
Curva en S	$t=e^{(2,55+627,8/a)}$	-627,8	-0,119	1,41	90%	0,078	9,67	9,17	9,21	9,28	0,5	0,11
Exponencial	$t=e^{(1,86+0,00017a)}$	0,000174	0,116	1,36	90%	0,083	9,67	9,14	9,22	9,31	0,53	0,17
Recíproca X	$t=11,72-5106,15/a$	-5106,15	-0,110	1,22	No	0,101	9,67	9,17	9,23	9,29	0,5	0,12
Recíproca Y	$t=1/(0,153-0,000021a)$	0,00002	-0,125	1,56	90%	0,063	9,67	9,12	9,21	9,31	0,55	0,19
Recíproca doble	$t=1/(0,0707+77,73/a)$	77,73	0,127	1,61	90%	0,059	9,67	9,12	9,20	9,28	0,55	0,16
Logarítmica	$t=-11,323+2,696 \ln a$	2,696	0,109	1,20	No	0,104	9,67	9,17	9,23	9,30	0,5	0,13
Potencial	$t=0,735a^{0,331}$	0,331	0,117	1,39	90%	0,08	9,67	9,14	9,22	9,29	0,53	0,15
$\sqrt{x}$	$t=3,632+0,123\sqrt{a}$	0,123	0,109	1,19	No	0,11	9,67	9,17	9,24	9,31	0,5	0,14
$\sqrt{y}$	$t=(2,528+0,00025a)^2$	0,00025	0,113	1,27	90%	0,09	9,67	9,16	9,24	9,31	0,51	0,15
cuadrática	$t=-50,18+0,062a-0,000016a^2$	s/s	s/s	1,68	No	0,16	9,67	9,01	8,85	8,61	0,66	-0,4
cúbica	$t=3143,1-5,04a+0,003a^2-0,00000005a^3$	s/s	s/s	3,21	90%	0,07	9,67	8,63	7,14	4,35	0,96	-4,28

Cuadro 4. De Bilt.

Modelo	expresión	pendiente	C.C.	R2	Signif.	p	R2000	E2000	E2050	E2100	R-E	Δ° C/100 a
Lineal	$t = -0,815 + 0,0047a$	0,0047	0,447	20,02	99%	0,000	10,88	10,15	10,39	10,62	0,73	0,47
Curva en S	$t = e^{(3,171-1715/a)}$	-1715	-0,44	19,45	99%	0,000	10,88	10,11	10,32	10,53	0,77	0,42
Exponencial	$t = e^{(1,321+0,0005a)}$	0,0005	0,44	19,54	99%	0,000	10,88	10,14	10,39	10,65	0,74	0,51
Recíproca X	$t = 18,17 - 16098,6/a$	-16098,6	-0,45	20,25	99%	0,000	10,88	10,12	10,32	10,51	0,76	0,39
Recíproca Y	$t = 1/(0,206 - 0,00005a)$	0,00005	-0,43	18,82	99%	0,000	10,88	10,12	10,40	10,70	0,76	0,58
Recíproca doble	$t = 1/(0,007 + 184,18/a)$	184,18	0,436	19,01	99%	0,000	10,88	10,09	10,32	10,55	0,79	0,46
Logarítmica	$t = -55,84 + 8,68 \ln a$	8,68	0,45	20,15	99%	0,000	10,88	10,17	10,23	10,30	0,65	0,13
Potencial	$t = 0,009a^{0,925}$	0,925	0,443	19,66	99%	0,000	10,88	10,12	10,36	10,59	0,76	0,47
$\sqrt{x}$	$t = -7,87 + 0,403\sqrt{a}$	0,403	0,45	20,09	99%	0,000	10,88	10,15	10,37	10,59	0,73	0,44
$\sqrt{y}$	$t = (1,662 + 0,0008a)^2$	0,0008	0,45	19,81	99%	0,000	10,88	10,14	10,39	10,64	0,74	0,5
cuadrática	$t = -35,7 + 0,004a - 0,00001a^2$	s/s	s/s	20,64	99%	0,000	10,88	10,01	10,07	10,07	0,81	0,06
Cúbica	$t = 2024,7 - 3,3a + 0,002a^2 - 0,00000003a^3$	s/s	s/s	24,02	99%	0,000	10,88	9,68	8,56	6,44	1,2	-3,24



Fig. 2. Evolución de la temperatura en De Bilt, Holanda

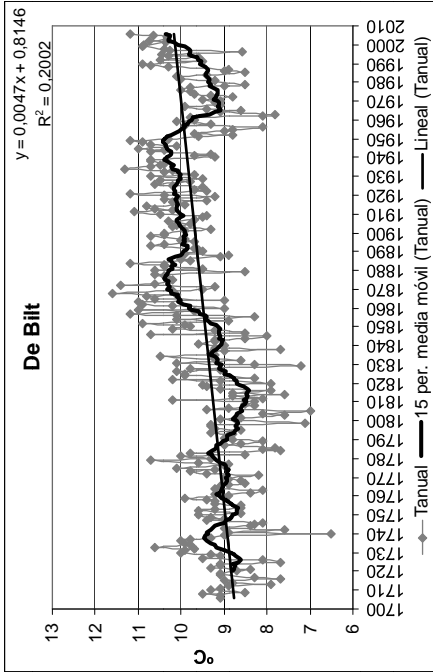


Fig. 1. Evolución de la temperatura en París

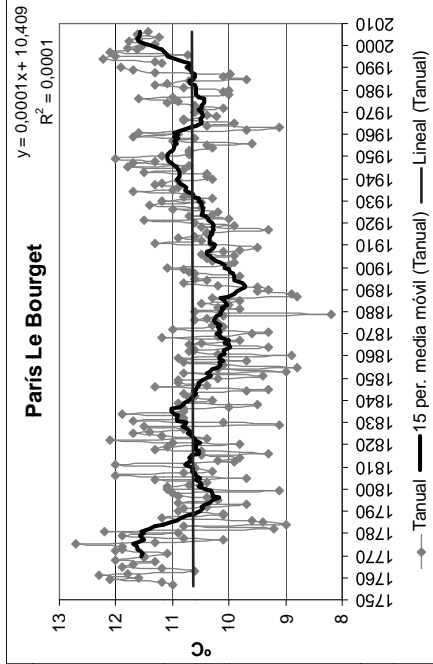


Fig. 3. Comparación de la temperatura anual entre Berlín, Tempelhof y Dahlem

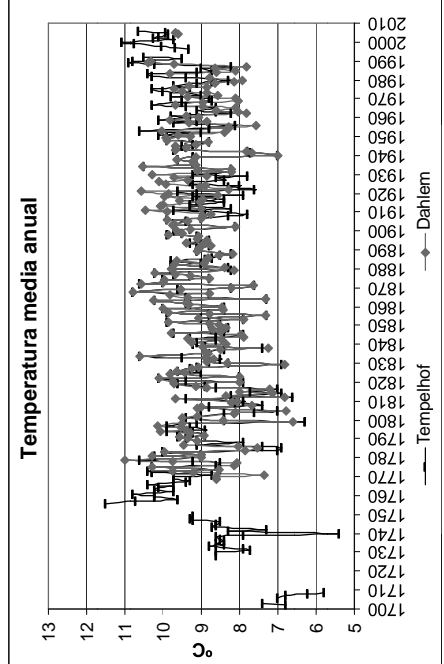


Fig. 4. Tendencias y medias móviles en las series berlinesas

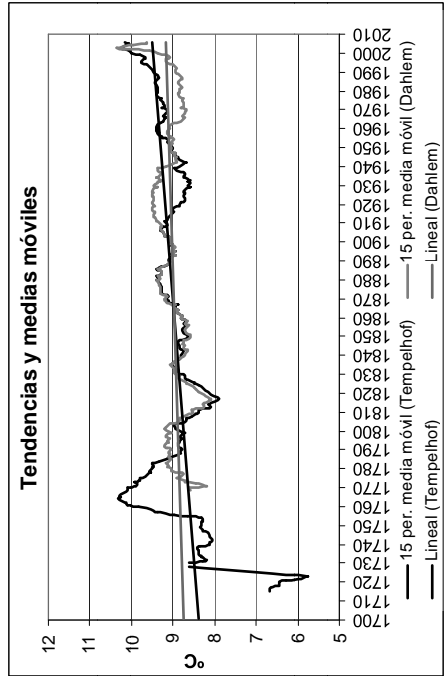




Fig. 5. Evolución de la temperatura en Tréveris, Alemania

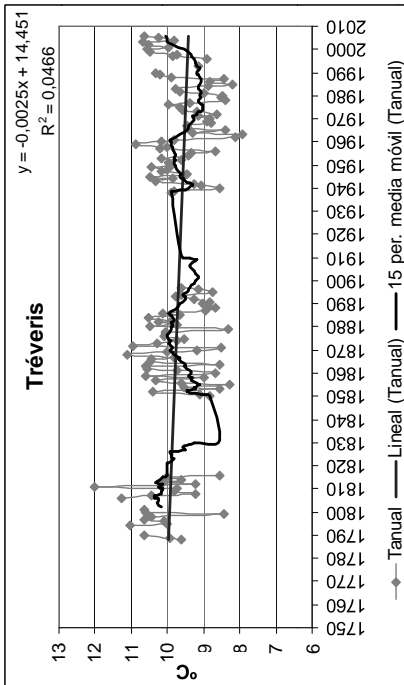


Fig. 6. Evolución de la temperatura en Wroclaw, Polonia

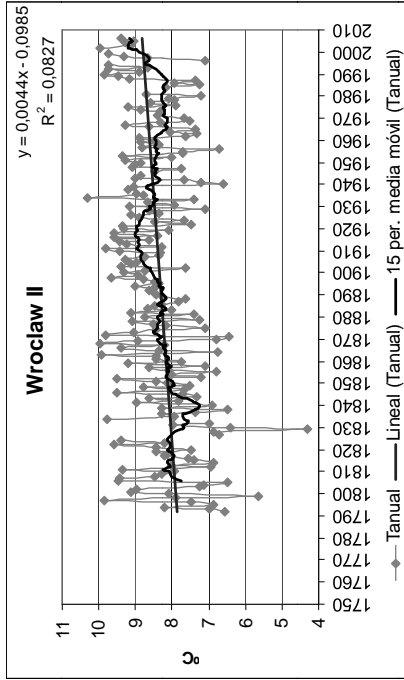


Fig. 7. Evolución de la temperatura en Viena, Austria

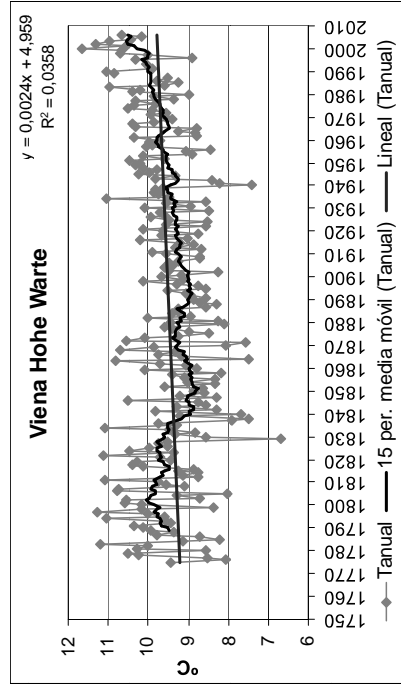


Fig. 8. Evolución de la temperatura en Munich, Alemania

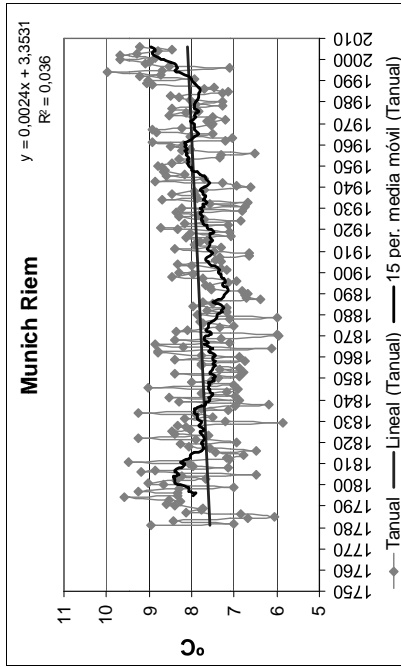


Fig. 10. Evolución de la temperatura en Basilea, Suiza

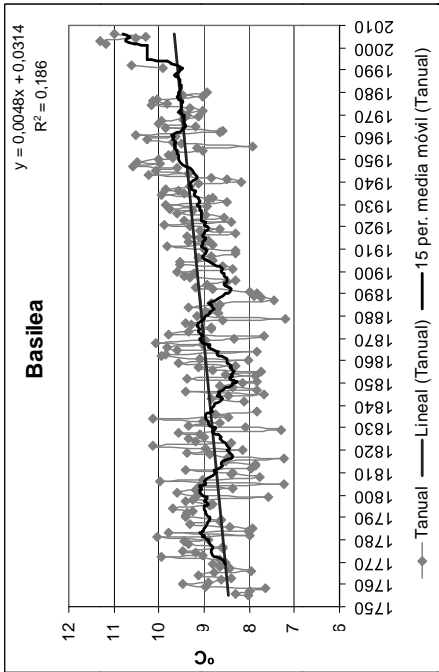


Fig. 12. Evolución de la temperatura en Milán, Italia

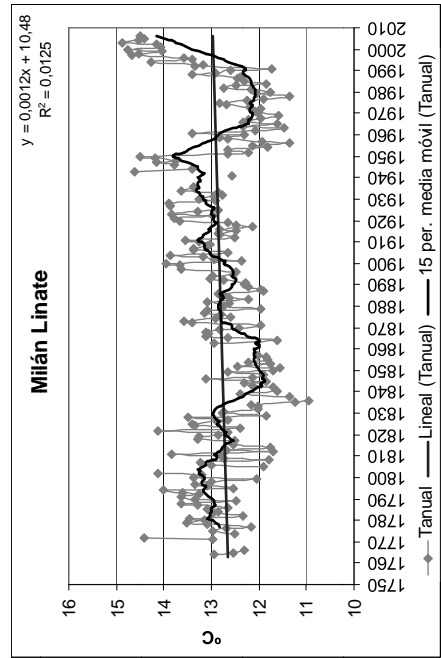


Fig. 9. Evolución de la temperatura en Hohenpreissenberg, Alemania

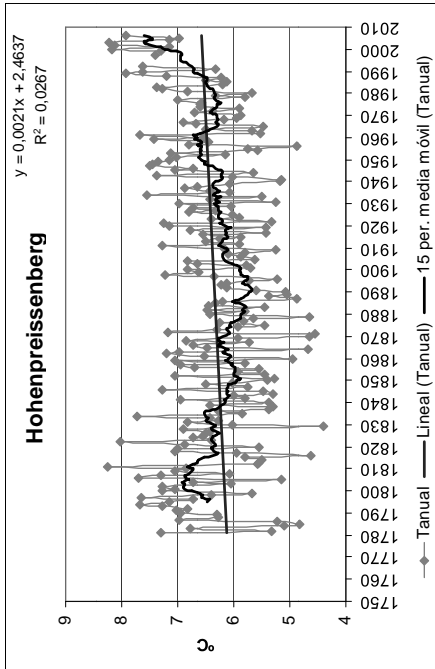


Fig. 11. Evolución de la temperatura en Ginebra, Suiza

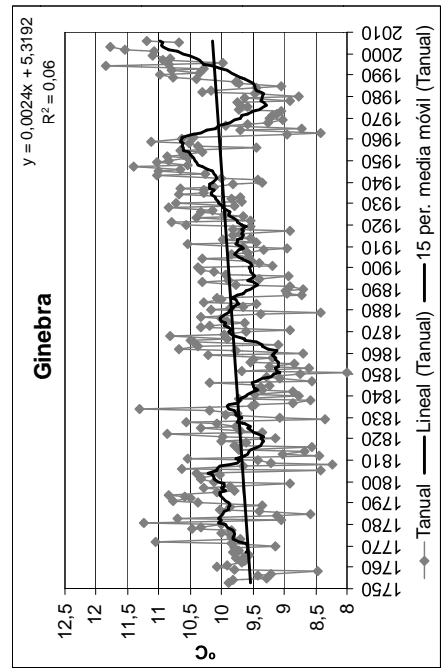


Fig. 13. Evolución de la temperatura en Budapest, Hungría

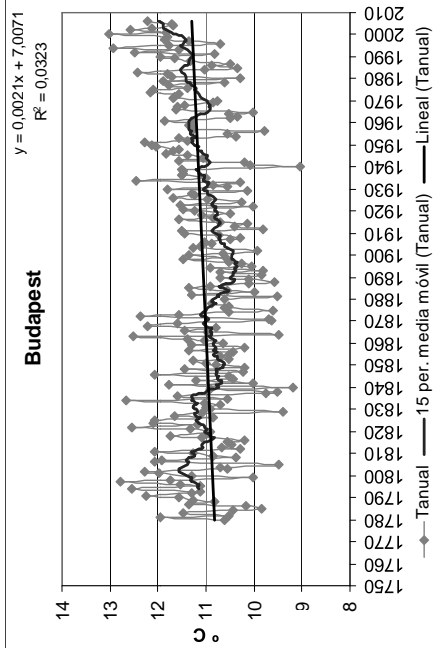


Fig. 14. Evolución de la temperatura en Trondheim, Noruega

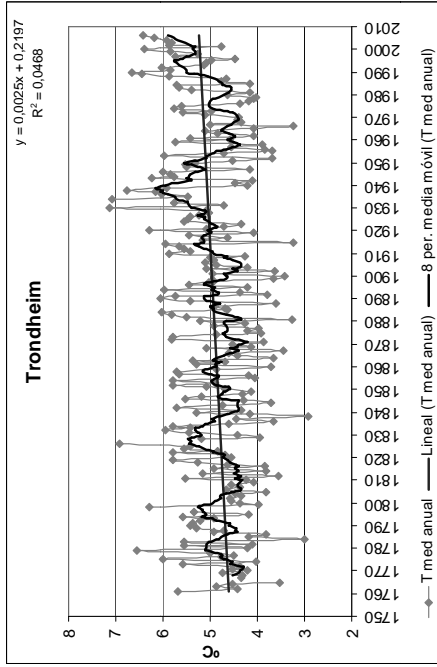


Fig. 15. Evolución de la temperatura en San Petersburgo, Rusia

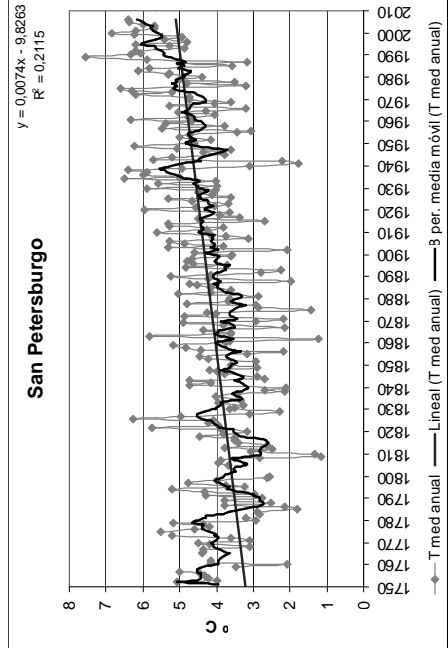


Fig. 16. Evolución de la temperatura en Estocolmo, Suecia

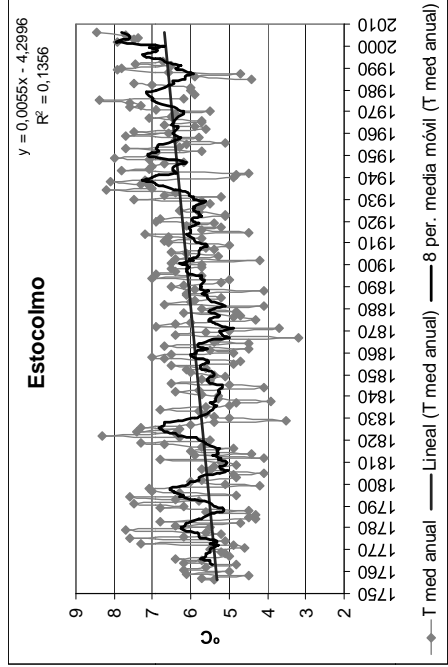


Fig. 17. Evolución de la temperatura en Riga, Letonia

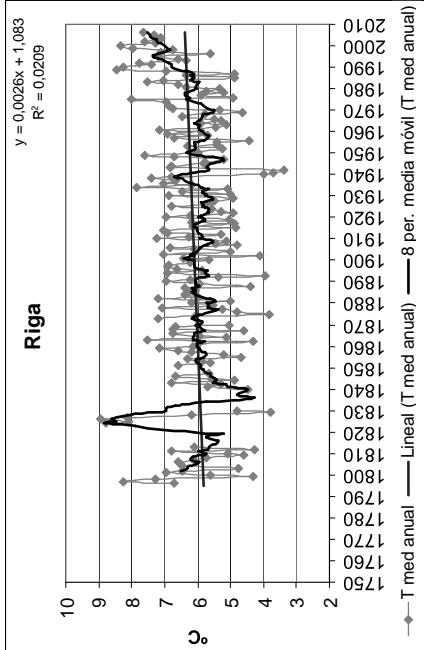


Fig. 18. Evolución de la temperatura en Vilna, Lituania

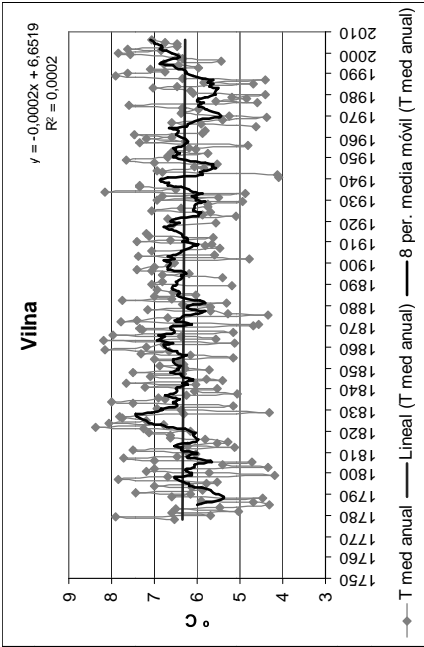


Fig. 19. Evolución de la temperatura en Copenhague, Dinamarca

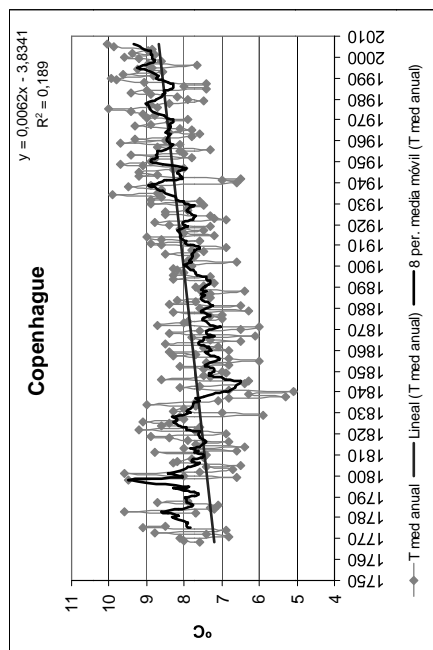


Fig. 20. Evolución de la temperatura en Edimburgo, Reino Unido

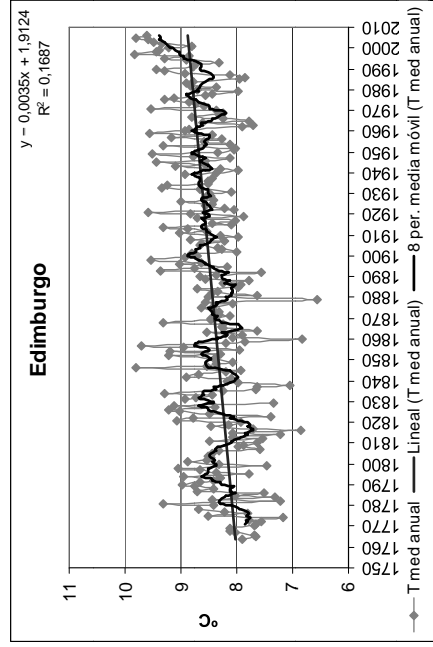


Fig. 22. Evolución de la temperatura en Boston, EE.UU.A

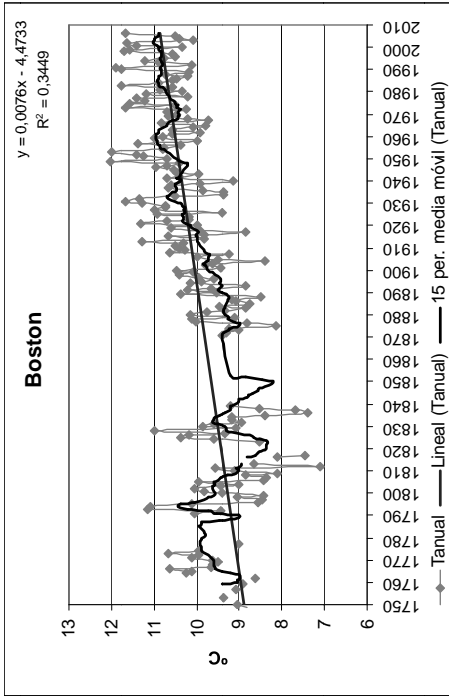


Fig. 21. Evolución de la temperatura en Albany, EE.UU.A

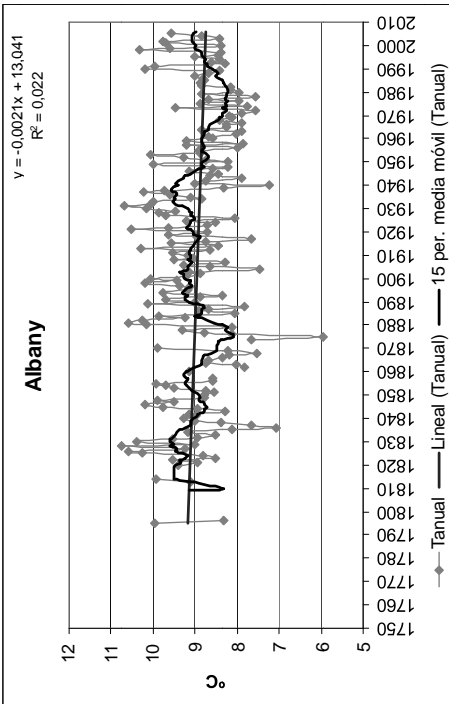


Fig. 24. Evolución de la temperatura en Madrás, India

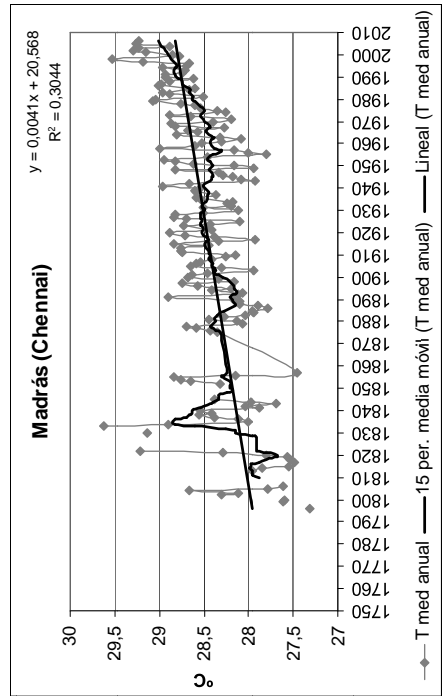


Fig. 23. Evolución de la temperatura en Natchez, EE.UU.A

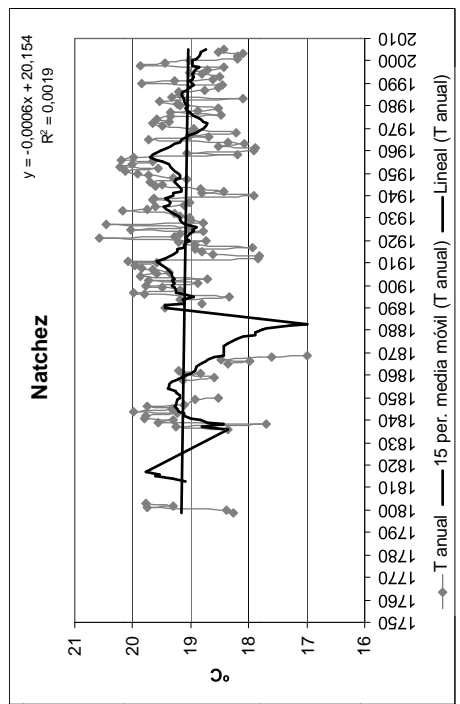


Figura 25: medias móviles (8 años) de la Llanura Centroeuropea.

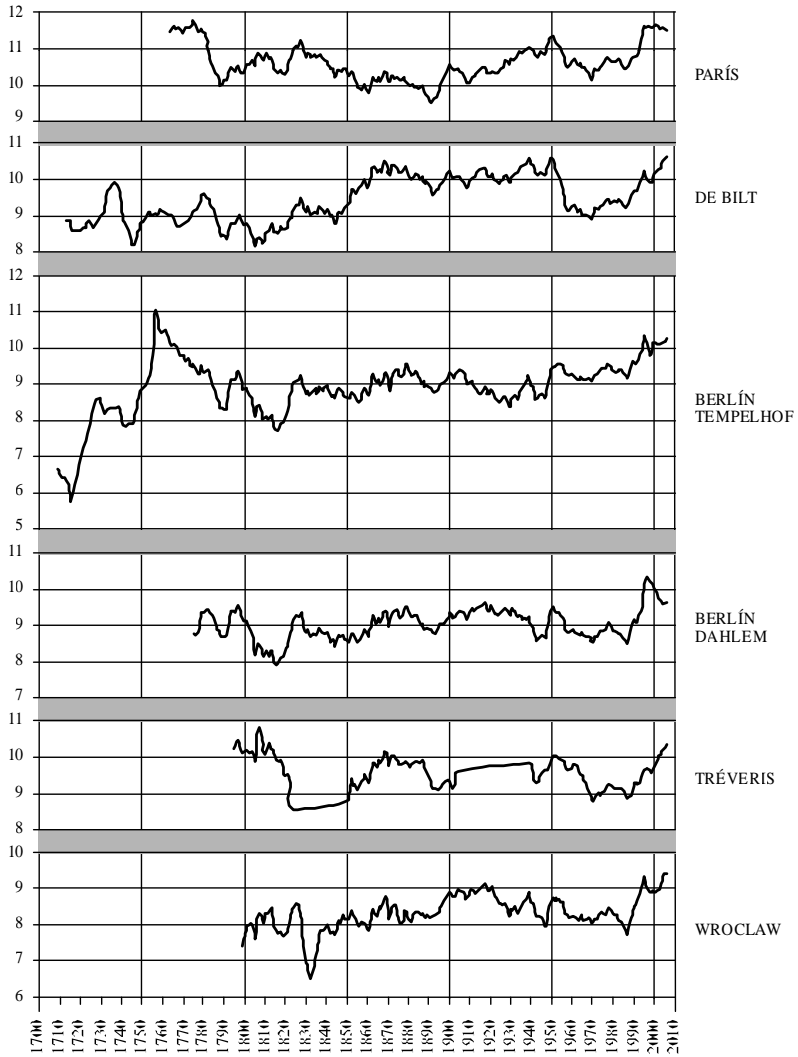


Figura 26: medias móviles (8 años) de la Europa circumpalpina.

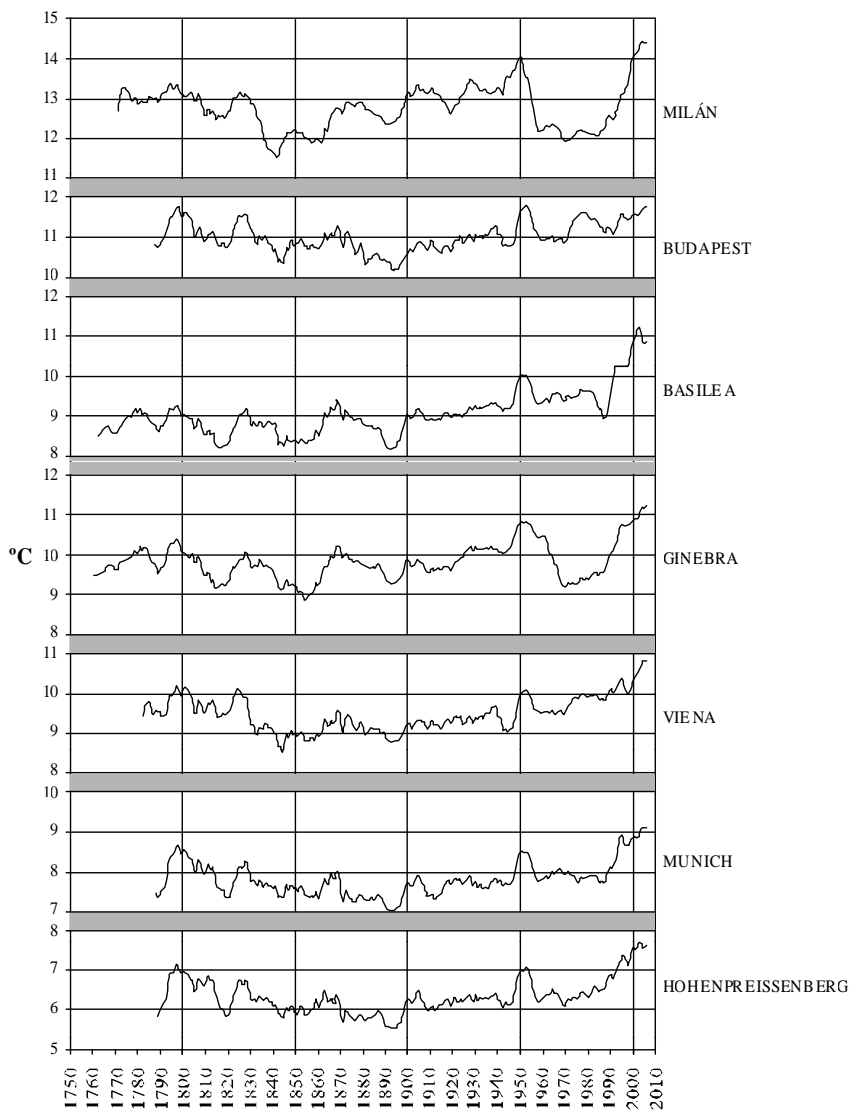


Figura 27: medias móviles (8 años) del ámbito “circumbáltico”.

